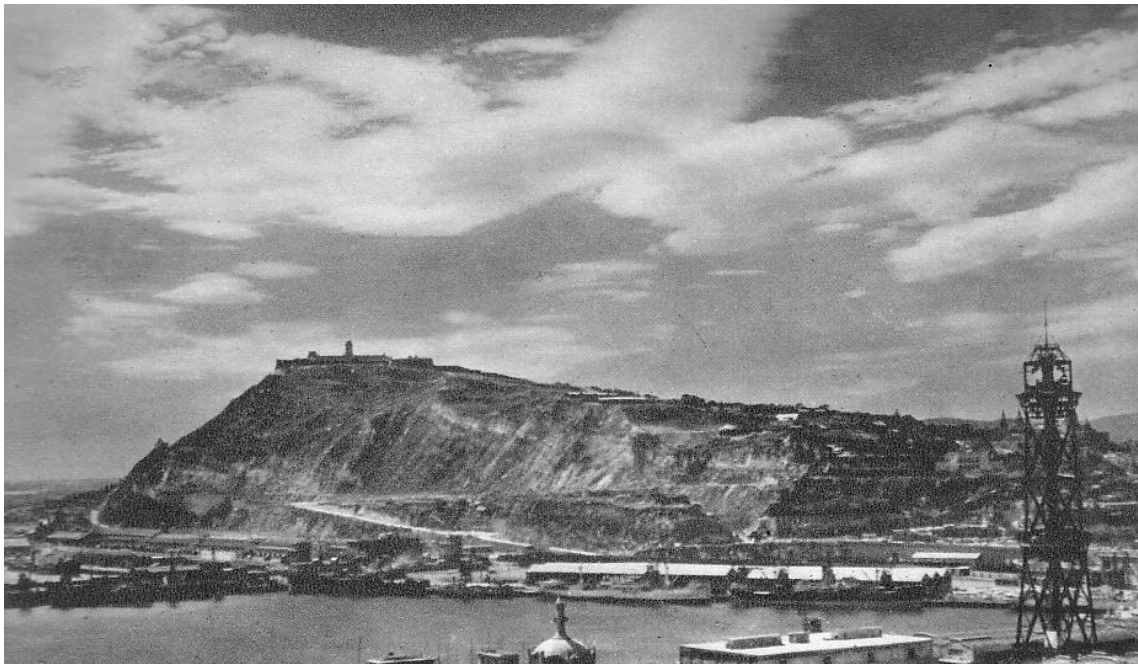




Universitat  
Autònoma  
de Barcelona

Treball de recerca. Doctorat en Geologia.  
Facultat de Ciències. Unitat de Geologia  
Universitat Autònoma de Barcelona

# **EL MIOCÈ DE LA MUNTANYA DE MONTJUÏC: ESTRATIGRAFIA, SEDIMENTOLOGIA, PETROLOGIA I DIAGÈNESI**



Autor: David Parcerisa Duocastella

Director: David Gómez Gras

20 de Setembre de 1999

*Al meu pare*

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA  
DEPARTAMENT DE GEOLOGIA  
UNITAT DE PETROLOGIA I GEOQUÍMICA

David Gómez Gras, professor del Departament de Geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona,

Certifica:

Que David Parcerisa i Duocastella ha realitzat sota la seva direcció el treball: “El Miocè de la muntanya de Montjuïc: estratigrafia, sedimentologia, petrologia i diagènesi”, que constitueix el tema del seu Treball de Recerca.

Bellaterra, a 13 de Setembre de 1999

Signat: David Gómez Gras

## AGRAÏMENTS

El dia 30 de Setembre de 1996 vaig decidir trucar a la porta del despatx d'en David Gómez Gras, professor de Petrologia Sedimentària de la Universitat Autònoma de Barcelona. No sabia gaire bé què pretenia amb aquell gest, però suposo que volia donar continuïtat a aquella passió per la Geologia que vaig començar a sentir quan estudiava BUP i COU. El fet és que en David m'acollí amb una confiança digna d'afalac. Des d'aquell moment fins al dia d'avui, a en David li dec el guiatge pel camí de la recerca científica. Evidentment, la realització d'aquest treball de recerca no hauria estat possible sense la seva empenta i sense el seu valuós treball i pacient dedicació al camp i al laboratori.

També estic francament agraït a en Francesc Calvet, catedràtic de la UB. A ell, com a Investigador Principal del Projecte d'Investigació, li dec la meua beca. A més, li he de reconèixer el seu ajut en la realització d'aquest treball de recerca i la seva bona predisposició (que alguns cops he cregut il·limitada) a discutir i comentar els diferents aspectes del meu treball.

En Médard Thiry, de l'École Nationale des Mines de Paris, no dubtà en acollir-me dins el seu grup de treball i en guiar-me dins el misteriós món de les silicificacions. Les hores que em dedicà mentre vaig ser a Fontainebleau foren magnífiques, cada frase era una lliçó, que procuraré no oblidar.

Molta altra gent m'ha ajudat a madurar les idees que em ballaven pel cap durant la realització d'aquest treball. L'ajut de la Cristina Ferrer i de l'Sting ha estat inestimable; els cafès i les converses compartides han fet el pas del temps més agraït. La Judit Nadal m'ha ofert la seva amistat i consell cada vegada que he anat a la UB i ha estat també la primera correctora d'aquest document. La Mercè Corbella ha donat el seu punt de vista crític (però constructiu), sobretot pel que fa als aspectes de modelització. L'Eudald Maestro m'ha ajudat en la comprensió de l'estratigrafia seqüencial de Montjuïc. En Toni Teixell a estat sempre a punt per discutir qüestions tectòniques i per donar un cop de mà en qualsevol cosa. En Joan Farran m'ha aconsellat respecte als dubtes lingüístics i amb en Jose Felipe Noguera (i tota la resta) hem compartit un llarg estiu a la UAB.

El Dr. Ramon Vaquer, cap del departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica de la UB, va tenir la deferència d'acompanyar-nos a conèixer la litologia del massís de Collserola, cosa que ha facilitat l'estudi de procedència dels gresos de Montjuïc. La Dra. Gúmer Galán ha estat sempre disposada a donar un cop de mà en els dubtes geoquímics. El Dr. Cívís de la Universitat de Salamanca ha realitzat l'estudi de foraminífers i, a França, les discussions amb Régine Simon-Coinçon i l'ajut de Jean-Michel Schmitt en la modelització geoquímica han estat impagables.

També he d'agrair l'ajut de tots els tècnics, especialment de Jordi Acosta (tristament desaparegut), Jaume Ques i Teresa Puig de la UAB. A França, la tasca realitzada per Nicole Forette, Marie-Claude Forette i André Raulo en la preparació i anàlisi de les mostres de Montjuïc ha estat valuosíssima. També he d'agrair el seu ajut als tècnics dels Serveis Científico Tècnics de la UB i als tècnics del dpt. de GPPG de la UB.

Molta altra gent ha estat al meu costat durant tot aquest temps i he de donar les gràcies a tots ells pel seu consell i recolzament. La Mari, el Manolo, el Fidel, el Joan Carles, el David, l'Anna, la Sabine, el Guillaume, el Lluís, la Laure, el Jan... i molts altres. Dec especial agraïment a Manolo López, que s'oferí a fer el mostreig de la paret de Riviere, on feia falta la mà experta d'un escalador professional, i a Rafa Martín, que vingué a fer fotos i va publicar un article sobre Montjuïc (les dues primeres fotos de la làmina II són seves).

Finalment, he de reconèixer el suport constant de la meva família, des del dia que vaig començar a fer aquella carrera on s'estudiaven les pedres i que no tenia gaires sortides laborals. El suport, l'estima i la paciència incondicionals de la Judith han estat el meu motor.

Aquest treball ha estat finançat per CAYCIT PB94-0868, CAYCIT PB97-0883 i "Comissionat per Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya" 1996-SGR-00086.

# ÍNDIX

<b>1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. SITUACIÓ GEOGRÀFICA I GEOLÒGICA.....</b>	<b>3</b>
2.1. SITUACIÓ GEOGRÀFICA .....	3
2.2. SITUACIÓ GEOLÒGICA .....	3
<i>El semigraben de Barcelona.....</i>	<i>6</i>
<i>Els horsts de Collserola-Montnegre i del Garraf.....</i>	<i>7</i>
<i>La zona d'enllaç entre el massís de Collserola i el semigraben de Barcelona .....</i>	<i>7</i>
<b>3. OBJECTIUS .....</b>	<b>10</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>12</b>
<b>5. ESTRATIGRAFIA I SEDIMENTOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
5.1. INTRODUCCIÓ .....	17
<i>Secció de Riviere .....</i>	<i>18</i>
<i>Secció del Morrot .....</i>	<i>18</i>
<i>Secció del Jardí de Cactus.....</i>	<i>18</i>
5.2. LITOSTRATIGRAFIA I SEDIMENTOLOGIA.....	22
<i>Unitat de gresos i conglomerats del Morrot.....</i>	<i>22</i>
<i>Unitat de margues i llims del Far.....</i>	<i>26</i>
<i>Unitat de lutites, gresos i conglomerats del Castell .....</i>	<i>26</i>
<i>Unitat de margues de Miramar .....</i>	<i>27</i>
<i>Unitat de lutites, gresos i conglomerats del Mirador .....</i>	<i>27</i>
5.3. CRONOSTRATIGRAFIA.....	28
5.4. ESTRATIGRAFIA SEQUÈNCIAL .....	29
<i>Seqüència 1.....</i>	<i>29</i>
<i>Seqüència 2.....</i>	<i>29</i>
<i>Seqüència 3.....</i>	<i>30</i>
<b>6. PETROLOGIA.....</b>	<b>31</b>
6.1. INTRODUCCIÓ.....	31
6.2. COMPOSICIÓ DETRÍTICA.....	31
6.3. MINERALOGIA DIAGENÈTICA .....	36
<i>Quars - SiO<sub>2</sub> .....</i>	<i>37</i>
<i>Feldspat potàssic - K(Al Si<sub>3</sub>)O<sub>8</sub> .....</i>	<i>37</i>
<i>Calcita - CaCO<sub>3</sub>.....</i>	<i>38</i>
<i>Òxids de ferro i titani - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i TiO<sub>2</sub>.....</i>	<i>38</i>
<i>Alunita - KAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>.....</i>	<i>38</i>

6.4. MINERALOGIA EN FRACTURES .....	39
<i>Franja de microquars i baritina</i> .....	39
<i>Franja de cristalls de baritina i òxids de ferro</i> .....	39
<i>Franja d'òpal, microquars i calcedònia</i> .....	39
6.5. CARACTERITZACIÓ PETROLÒGICA I COMPOSICIONAL DE LES DIFERENTS UNITATS .....	40
<i>Unitat del Morrot</i> .....	41
<i>Unitat del Far</i> .....	42
<i>Unitat del Castell</i> .....	42
<i>Unitat del Mirador</i> .....	43
<b>7. PROCEDÈNCIA DELS COMPONENTS DETRÍTICS</b> .....	<b>45</b>
7.1. INTRODUCCIÓ .....	45
7.2. LITOLOGIA ORIGINAL DELS COMPONENTS DETRÍTICS .....	45
7.3. ANÀLISI MODAL DELS COMPONENTS DETRÍTICS .....	48
<i>Diagrama composicional QFM (Folk, 1965)</i> .....	48
<i>Diagrama composicional QFFR (Pettijohn et al., 1973)</i> .....	50
<i>Diagrama composicional QmFLt (Dickinson et al., 1983)</i> .....	51
<i>Diagrama composicional QtFL (Dickinson et al., 1983)</i> .....	52
<i>Diagrama composicional QtKP (Dickinson et al., 1983)</i> .....	53
7.4. INTERPRETACIÓ DE LES DADES .....	54
<b>8. PROCESSOS DIAGENÈTICS</b> .....	<b>57</b>
8.1. INTRODUCCIÓ .....	57
8.2. ENTERRAMENT I COMPACTACIÓ DELS GRESOS DE MONTJUÏC .....	58
8.3. AUTIGÈNESI EN ELS GRESOS DE MONTJUÏC .....	59
<i>Microfàcies no silicificades (MnS)</i> .....	61
<i>Microfàcies silicificades (MS)</i> .....	62
<i>Relació entre les microfàcies i les varietats constructives de la pedra de Montjuïc</i> .....	66
8.4. SUCCESIONS DIAGENÈTIQUES .....	67
8.5. FONT DELS IONS AUTIGÈNICS .....	69
<b>9. MODEL GEOQUÍMIC DE LA SILICIFICACIÓ</b> .....	<b>71</b>
9.1. INTRODUCCIÓ .....	71
9.2. MECANISMES GEOQUÍMICS .....	71
<i>Geoquímica de la sílice</i> .....	72
<i>Geoquímica del feldspat potàssic</i> .....	74
<i>Geoquímica dels òxids de ferro</i> .....	75
<i>Geoquímica de l'alunita</i> .....	76
<i>Geoquímica de la baritina</i> .....	77
9.3. MODEL GEOQUÍMIC CONCEPTUAL .....	77

<i>Quimisme de la silicificació</i> .....	78
<i>Mecanisme d'acidificació del medi</i> .....	79
<i>Precipitació de minerals del grup de la sílice</i> .....	79
<i>Precipitació a les fractures</i> .....	80
<i>Hidrologia de la silicificació</i> .....	81
9.4. MODELITZACIÓ TERMODINÀMICA QUANTITATIVA .....	81
<i>Composició de la roca inicial</i> .....	82
<i>Composició de la solució percolant</i> .....	82
<i>Resultats de la modelització</i> .....	82
<b>10. CONCLUSIONS</b> .....	<b>87</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>91</b>
<b>ANNEX I. SECCIONS ESTRATIGRÀFIQUES</b> .....	<b>100</b>
<b>ANNEX II. FOTOGRAFIES</b> .....	<b>106</b>
LÀMINA I.....	107
LÀMINA II .....	109
LÀMINA III .....	111
LÀMINA IV .....	113
LÀMINA V .....	115
LÀMINA VI.....	117
LÀMINA VII.....	119
LÀMINA VIII .....	121



## 1. INTRODUCCIÓ

---

La ciutat de Barcelona va néixer apadrinada per dos turons, el Mont Taber i el Mont Jovis. La primera n'ha estat el bressol sobre el qual va créixer; la segona, anomenada actualment Montjuïc, ha subministrat una part important de la matèria prima amb la que, des de l'època dels romans, s'ha anat construint la ciutat. Efectivament, molts dels edificis de la Barcelona del passat són fets amb la “pedra de Montjuïc”, una pedra compacta i resistent de coloracions blanques, vinoses o violàcies. Si hom vol esbrinar-ho només cal passejar per la ciutat, on nombrosos edificis (Catedral, Palau de la Virreina, Parlament...) duen l'empremta característica d'aquesta muntanya. Actualment, tot i la intensa urbanització que ha experimentat Montjuïc durant aquest segle, encara és possible observar les cicatrius deixades per l'explotació de les antigues pedreres, formant murs semicirculars de roca natural al voltant de tota la muntanya (La Foixarda, Teatre Grec...).

Montjuïc és jove, si més no, des del punt de vista geològic, ja que la fauna trobada a les roques que formen la muntanya és d'edat miocena (5.3-23.8 Ma). Des del segle passat s'han dut a terme diferents estudis geològics a la muntanya, la majoria d'ells amb la inquietud de desxifrar-ne l'estratigrafia i el contingut faunístic i vegetal (La Mármora, 1834; Carez, 1881; Maureta i Thos, 1881; Almera, 1880 i 1898; Faura y Sans, 1908 i 1917; San Miguel de la Cámara, 1912 i 1928). Per fer un seguiment exhaustiu de la bibliografia geològica de Montjuïc es pot consultar l'article de Vía i Padreny (1972) el qual enumera i resumeix tots els textos que fan referència a la geologia de Montjuïc des del 1600 fins al 1972. Pel seu contingut, destaca el treball de Villalta i Rosell (1965), el qual estableix l'estratigrafia general de la muntanya que ha servit de base per al present treball. Per altra banda, els treballs de Faura i Sans (1917) i San Miguel i Masriera (1970), són els únics de caire petrològic realitzats a la muntanya i els de Colom i Bauza (1945) i Magné (1978), són els que exposen un inventari dels diferents foraminífers trobats a Montjuïc; segons aquest

últim, la fauna present indica que la formació dels dipòsits de Montjuïc esdevingué entre el Serraval·lià superior i el Tortonià. Vicente (1988) i Sanz de Siria (1994) parlen del contingut vegetal dels sediments miocènics de Montjuïc. Tot i els nombrosos estudis realitzats, en general, la sedimentologia i la petrologia de la muntanya de Montjuïc han estat temes malauradament oblidats per gran part dels treballs realitzats fins a l'actualitat.

El present estudi es proposa aprofundir en el coneixement geològic d'aquesta simbòlica muntanya, posant especial atenció en els processos sedimentològics i petrològics que donaren lloc a la formació de la "pedra de Montjuïc", tal i com es pot veure no només a la muntanya, sino també als edificis, monuments i carrers de la ciutat de Barcelona.

La muntanya de Montjuïc està formada per roques sedimentàries detrítiques. L'anàlisi estratigràfic i sedimentològic detallat d'aquestes roques permet dilucidar en quin ambient sedimentari es van dipositar. Concretament, la muntanya de Montjuïc era un delta que, durant el Miocè, desembocava a la mar Mediterrània. Des del punt de vista petrològic, es podria acceptar, com una rudimentària classificació petrològica, la terminologia utilitzada per la gent que treballava en l'explotació de la "pedra de Montjuïc": el blanquet i el rebuig. El blanquet és la pedra de bona qualitat, dura i compacta però fàcil de treballar. El rebuig és la de mala qualitat, desagregable i poc útil per a construcció. Tot i així, ambdues varietats han estat utilitzades al llarg del temps. Aquest treball intentarà esbrinar quin és el significat geològic de l'existència d'aquestes dues varietats de pedra. A més a més de la raó per la qual una roca tant jove com la de Montjuïc ha experimentat una transformació de tal magnitud que l'ha fet esdevenir massissa i consistent, essent aquest últim un dels molts interrogants geològics que ofereix la muntanya de Montjuïc.

## 2. SITUACIÓ GEOGRÀFICA I GEOLÒGICA

---

### 2.1. Situació geogràfica

La muntanya de Montjuïc s'alça entre el mar i la ciutat de Barcelona. Situada al S de la ciutat, constitueix un petit turó adossat a la costa que sobresurt de la plana del delta del Llobregat. El seu perfil és escarpat al vessant E i suau al vessant W, té una altitud de 191,7 m (Castell de Montjuïc) i una extensió aproximada de 3,6 km<sup>2</sup>.

L'accés es realitza fàcilment des de diversos punts de la ciutat de Barcelona. Per visitar el vessant W cal sortir de la plaça Espanya. Des d'aquest punt es pren l'Avinguda de Marquès i Comilles i l'Avinguda de l'Estadi, les quals fan un ampli recorregut per tot aquest vessant. Si hom vol visitar el vessant E de Montjuïc cal sortir des del Monument a Colom prenent el carrer Josep Carner. El carril central d'aquest carrer puja pels jardins Costa i Llobera cap a Miramar. En arribar a un revolt de 180° cal prendre un corriol en sentit S que dona accés al Morrot. Per accedir al Far de Montjuïc i al solar de l'antiga fàbrica textil Riviere S.A. es pren el Passeig de Zona Franca en direcció a Can Tunis des d'on, sense entrar a les instal·lacions portuàries, s'accedeix a la carretera que dona accés a Riviere i que puja al Far.

### 2.2. Situació geològica

La formació de Montjuïc durant el Miocè està associada a un període d'intensa extensió d'edat neògena que provocà l'obertura del mar balearic. Aquesta estructura extensiva és coneguda com a Solc de València (Banda i Santanach, 1992a i 1992b; Roca i Guimerà, 1992; Roca, 1994). Degut a aquest règim extensiu es formà, al límit NW del Solc de València, un *rift* constituït per diverses conques sedimentàries de tipus graben (Vallès-Penedès, Barcelona...) separades per

elevacions estructurals o horsts (Collserola-Montnegre, Garraf...), les quals formen les actuals Serralades Costaneres Catalanes (fig. 1).

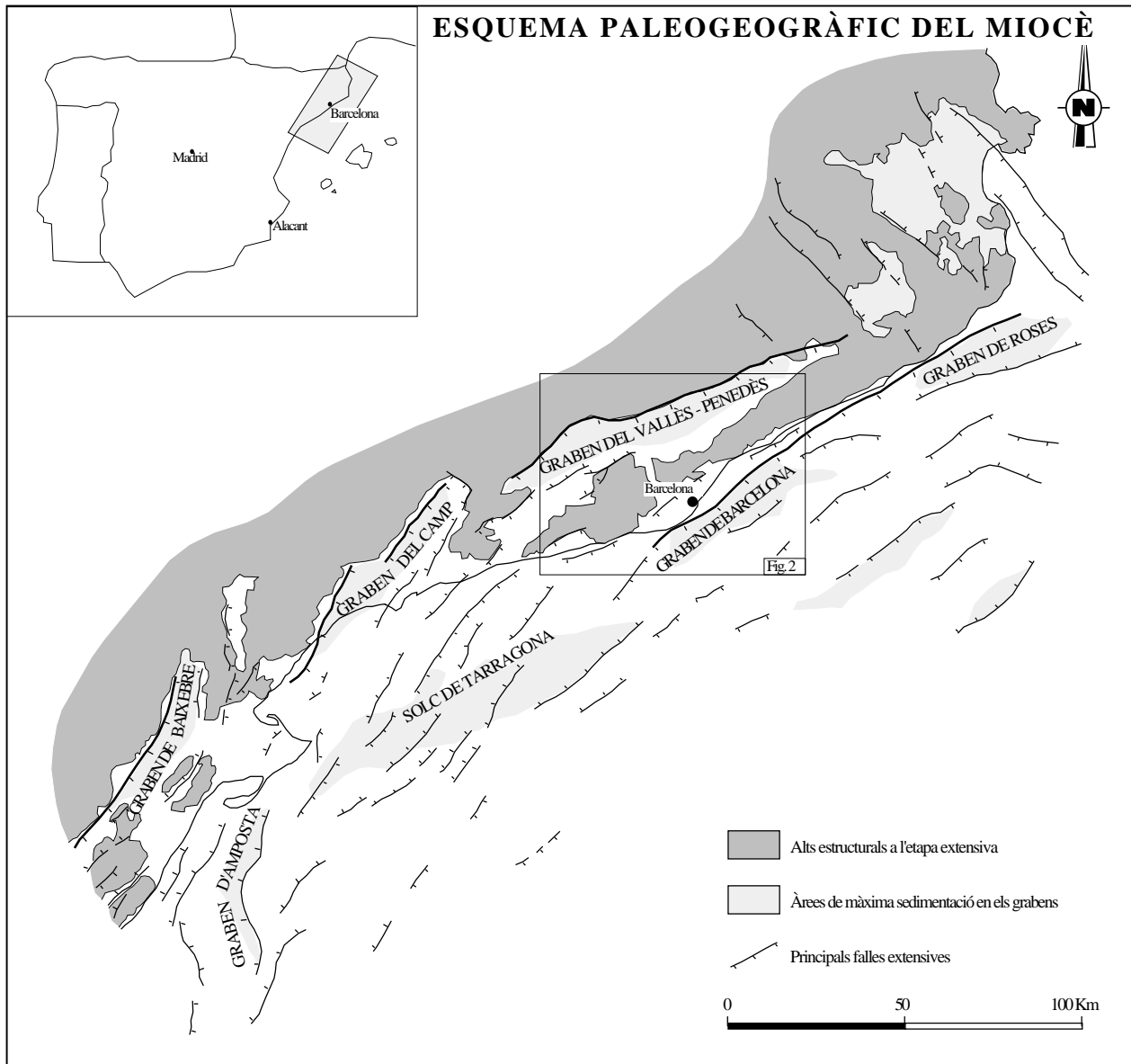


fig. 1. Estructura del marge català del solc de València (modificat de Bartrina et al., 1992).

L'estructura d'aquest *rift* és dominada per falles longitudinals de sòcol amb orientació general NE-SW a ENE-WSW. Durant l'orogènia alpina, aquestes falles prengueren un comportament *destrike-slip* sinistre amb transpressió local. Així, a l'Oligocè, el Solc de València era una conca a col·libè (*piggy-back basin*) en règim compressiu. Durant l'extensió neògena, algunes d'aquestes falles foren reactivades com a falles normals (falla del Vallès-Penedès, falla del Camp) i aparegué una nova família de falles transversals de *strike-slip* amb orientació NW-SE

(falla del Llobregat, falla de Capellades-Vallcarca), les quals afecten puntualment al conjunt de falles longitudinals.

Les Serralades Costaneres Catalanes estan formades per una cobertora d'edat mesozoica discordant sobre un sòcol hercinià. El sòcol està format fonamentalment per roques metamòrfiques i metasedimentàries del Paleozoic i per granits tardihercinians. El Mesozoic (Triàsic, Juràssic i Cretaci) està constituït bàsicament per roques sedimentàries carbonàtiques (calcàries i dolomies) i, en menor mesura, per roques siliciclàstiques i evaporítiques.

A la part central de les Serralades Costaneres Catalanes hi ha dos semigrabens neògens: el semigraben del Vallès-Penedès i el semigraben de Barcelona, aquest darrer actualment roman submergit sota les aigües del Mediterrani. Ambdós estan separats pels horsts del Garraf i de Collserola-Montnegre (fig. 2). Montjuïc és un petit bloc basculat situat a la zona d'enllaç entre el horst de Collserola-Montnegre i el semigraben de Barcelona i correspon als darrers estadis de reompliment del mateix semigraben de Barcelona.

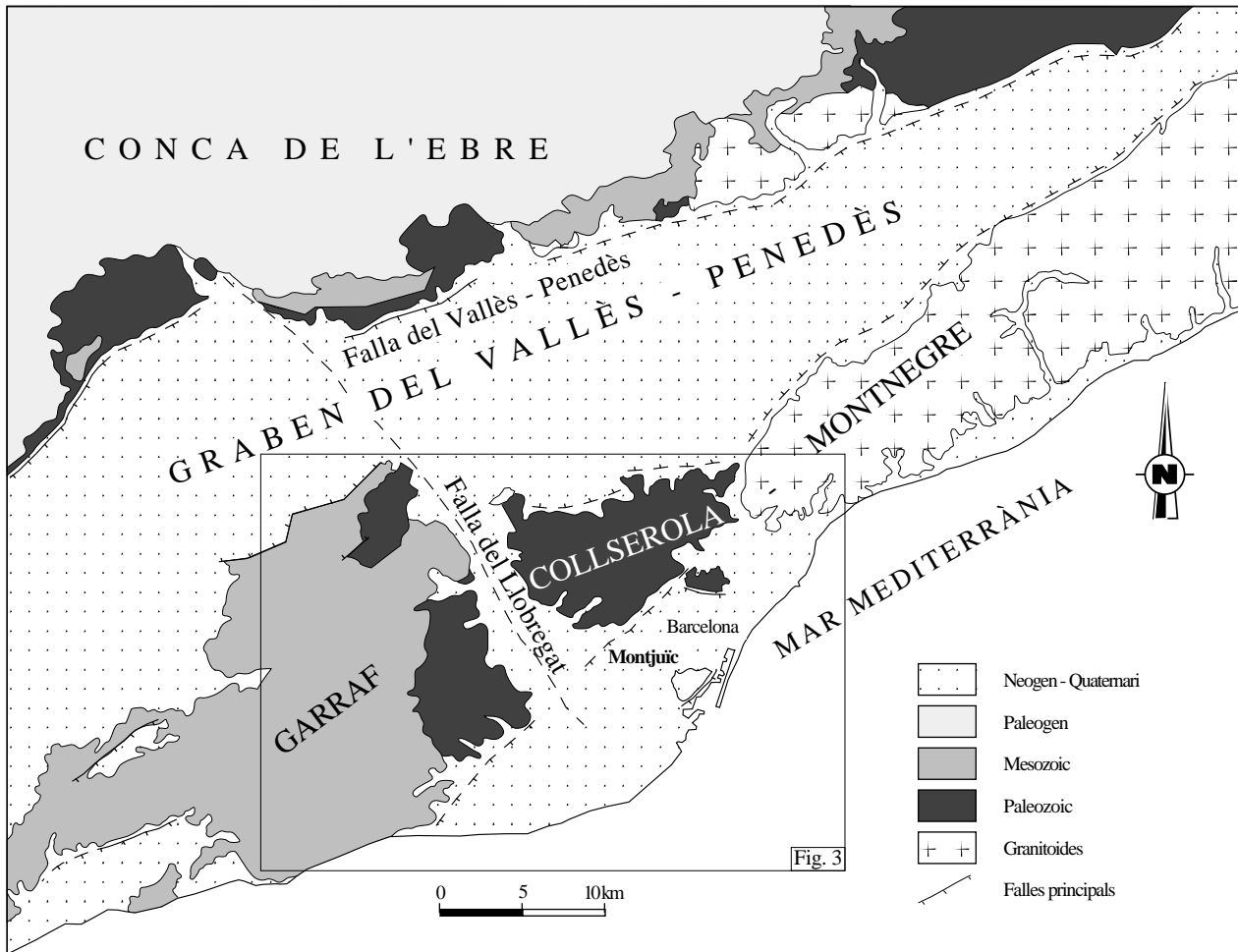


fig. 2. Context tectònic de l'àrea d'estudi.

### *El semigraben de Barcelona*

El semigraben de Barcelona mesura aproximadament 60 km de longitud per 16 km d'amplada. Al NW està limitat per una falla extensional lítrica amb cabussament cap al SE i amb un enfonsament que sobrepasa els 6 km. El marge SW està format per diverses falles normals de salt hectomètric (Bartrina *et al.*, 1992; Álvaro-de-Buergo i Meléndez-Hevia, 1994).

El reompliment d'aquest semigraben ha estat dividit en les següents unitats litostratigràfiques (Bartrina *et al.*, 1992): 1) Unitats del Paleogen-Aquitanià?, són formades per nivells de red beds, evaporites i carbonats bituminosos; 2) Unitats del Miocè Inferior i Mitjà (Aquitanià?-Serraval·lià inferior), compostes per dipòsits terrígens de plataforma i talús i localment plataformes carbonàtiques; 3) Unitats del Serraval·lià-Tortonjà, constituïdes bàsicament per gresos i argiles marins.

### *Els horsts de Collserola-Montnegre i del Garraf*

Els horsts de Collserola-Montnegre i del Garraf tenen una orientació aproximada NE-SW i estan separats per la falla del Llobregat, que té una direcció NW-SE (fig. 2).

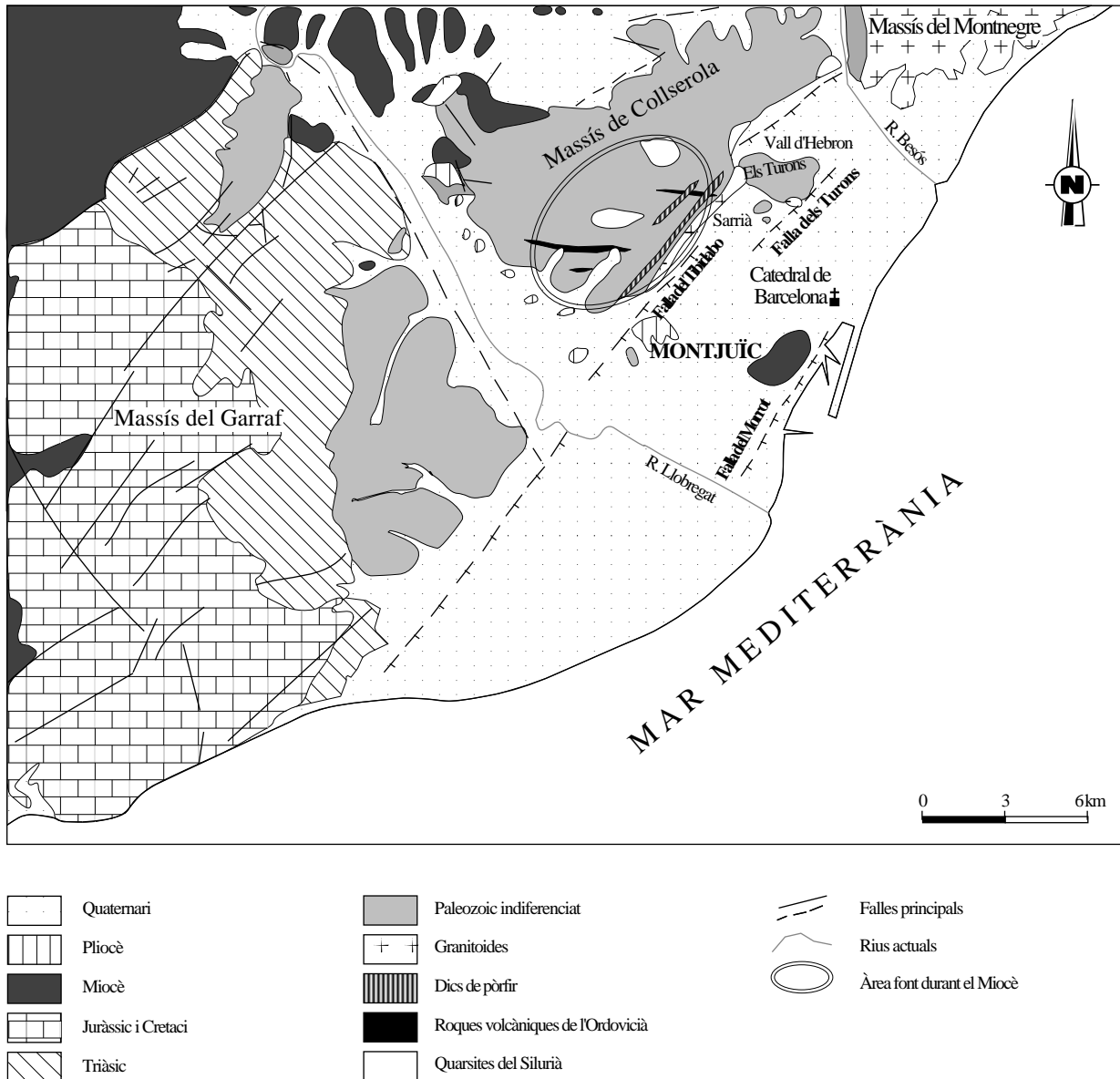
El horst de Collserola-Montnegre mesura aproximadament 75 km de longitud per 20 km d'amplada. La part SW del horst s'anomena massís de Collserola i està formada per roques paleozoiques de l'Ordovicià superior al Carbonífer i per granitoides (Vaquer, 1973; Gil Ibarguchi i Julivert, 1988; Julivert i Durán, 1990). La resta del horst és el massís del Montnegre compost essencialment per granitoides.

Els materials de l'Ordovicià i del Silurià són els més ben representats en aquesta àrea i presenten una gran diversitat de roques metamòrfiques de grau baix i mig (pissarres, fil·lites i quarsites) amb intercalacions de roques volcàniques (Durán *et al.*, 1984). Els granitoides formen part d'un important batòlit calcoalcalí (Enrique, 1990) i estan compostats per quars, plagiòclasi, feldspat potàssic i biotita (Vaquer, 1973). La intrusió d'aquests granitoides afectà les roques metamòrfiques encaixants donant lloc a aurèoles de contacte de més de 2 km amb el consegüent desenvolupament d'una gran varietat de cornianes (San Miguel de la Cámara, 1929; Vaquer, 1973 i Gil Ibarguchi i Julivert, 1988). Els granitoides i les roques metamòrfiques són afectades per la intrusió de dics de pòfir, aplita i pegmatita.

El horst del Garraf mesura aproximadament 50 km de longitud per 20 km d'amplada i és constituït per roques carbonàtiques del Mesozoic (Triàsic, Juràssic i principalment Cretaci) i, localment, materials del Paleozoic (roques ígnies i metamòrfiques).

### *La zona d'enllaç entre el massís de Collserola i el semigraben de Barcelona*

L'estructura geològica d'aquesta zona d'enllaç, on bàsicament s'assenta la ciutat de Barcelona, és relativament complexa (fig. 3), ja que la formen diverses unitats tectòniques menors afectades per falles normals: falla del Tibidabo, falla dels Turons, falla de Barcelona i falla del Morrot. Aquestes falles tenen una orientació NE-SW i un salt superior als 300 m (Llopis, 1942b; Solé Sabarís, 1963; Medialdea Vega i Solé Sabarís, 1973; Alonso *et al.*, 1977; Roca i Casas, 1981).



**fig. 3.** Mapa geològica dels massissos del Garraf, de Collserola i del Pla de Barcelona.

Des del massís de Collserola fins a la mar Mediterrània es poden trobar les següents unitats:

- 1) Depressions de Sarrià i Vall d'Hebron (Llopis, 1942b), situades al peu del massís de Collserola i controlades per la falla del Tibidabo. Aquestes dues depressions estan separades pel bloc basculat dels Turons i són reblertes per materials quaternaris;
- 2) Bloc basculat dels Turons (Monteroles, Putxet, Vallcarca, Carmel), format essencialment per roques metamòrfiques fil·líticaes de l'Ordovicià i el Silurià i per roques carbonàtiques siluro-devonianes;
- 3) Depressió de Barcelona, amb més de 300 m d'espessor, controlada per la falla dels Turons al NW i per la falla de Barcelona al SE (Llopis, 1942b; Roca i Casas, 1981). Aquesta depressió ha estat reomplerta per sediments marins del Pliocè i per dipòsits continentals del Quaternari (Almera, 1894; Llopis, 1942b; Solé Sabarís, 1963; Alonso *et al.*, 1977; Roca i Casas, 1981);
- 4) Bloc basculat de Montjuïc delimitat al



SE per la falla del Morrot i al N per una falla menor orientada E-W (Roca i Casas, 1981). Probablement, el bloc de Montjuïc té continuïtat estructural cap al NE (cap a l'antic centre de la ciutat) on els edificis històrics reposen sobre l'hipotètic bloc basculat del Mont Taber. El basculament i fracturació del bloc de Montjuïc succeïren a finals de l'extensió neògena. La fracturació principal té orientació NE-SW i inclou la falla del Morrot i altres petites falles associades. Hi ha un segon sistema, de menor importància, que es disposa ortogonalment al principal. Ambdós sistemes de fractures causen un intens diaclasat en els materials més rígids de la muntanya de Montjuïc.

### **3. OBJECTIUS**

---

Aquest treball pretén ser una aportació al coneixement general de la geologia dels dipòsits terciaris de la muntanya de Montjuïc, dedicant especial atenció als aspectes estratigràfics, sedimentològics, petrològics i diagenètics. Per assolir aquest objectiu general s'han marcat uns objectius concrets a accomplir:

1. Caracteritzar l'estratigrafia, la sedimentologia i la petrologia generals de la muntanya de Montjuïc.
2. Concretar quina fou l'àrea font dels components detrítics, esbrinar durant quin període concret va funcionar aquest sistema i integrar aquestes dades en el context evolutiu del marge ibèric del solc de València.
3. Analitzar quins han estat els principals processos diagenètics que han actuat sobre aquests dipòsits.
4. Realitzar un model geoquímic general per a la diagènesi dels gresos i conglomerats de Montjuïc.
5. Comprovar que el model establert compleix les lleis de la termodinàmica mitjançant una modelització termodinàmica quantitativa.



#### 4. METODOLOGIA

---

Per tal d'assolir els objectius marcats en aquest estudi, s'ha elaborat un esquema de treball distribuït en una etapa de camp, una d'anàlisi en laboratori i una darrera de gabinet.

Durant l'etapa de camp es confeccionaren tres seccions estratigràfiques per abastar tota la potència de Miocè de la muntanya de Montjuïc (secció de Riviere, secció del Morrot i secció del Jardí de Cactus; ANNEX II). L'aixecament d'aquestes seccions fou acompanyat d'un mostreig sistemàtic de les capes de gres, prenent cura d'agafar mostres de granulometria mitja a grollera aptes per a l'estudi petrogràfic. També s'elaborà una cartografia geològica 1:500 i alguns mostreigs puntuals quan fou necessari (p. ex. per a l'estudi de les fractures).

La segona etapa consistí en una anàlisi de les mostres al laboratori aplicant diverses tècniques. Inicialment, es realitzà un estudi de les mostres al microscopi petrogràfic. Per aquesta raó, es van elaborar un total de 124 làmines primes fent un tenyit selectiu amb cobalt-nitrit sòdic pels feldspats potàssics i de la resina (*Epofix* amb *Bisphenol-A-Diglycidilether* i *Triethylenetetramine*) amb colorant blau per la porositat. Posteriorment, es van escollir 17 làmines primes representatives de totes les unitats per dur a terme un comptatge de 500 punts segons el mètode de Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984 i De Ros *et al.*, 1994). Per a la realització d'aquest comptatge es va confeccionar una taula de comptatge amb tots els elements de possible aparició a les làmines primes (Taula A).

Per a la determinació qualitativa d'espècies minerals es va efectuar difracció de Raigs X en 53 mostres als laboratoris del Centre d'Informatique Geologique de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris. Les dades han estat obtingudes amb un difractòmetre *Philips* tipus 1710,

utilitzant la radiació  $K\alpha$  ( $\lambda=1.54060 \text{ \AA}$ ) del Cu, a 40 kV i 20 mA. Els difractogrames han estat realitzats amb passos de  $0.02^\circ.2\theta$  a una velocitat de  $1^\circ/\text{Mn.}$  des de  $2^\circ$  a  $60^\circ$ . L'interpretació dels diagrames ha estat realitzada a partir de les fitxes A.S.T.M. (*American Society for Testing and Materials*) publicades per J.C.P.D.S. (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) el 1980 i seguint el mètode de Hanawalt.

La composició química dels minerals detrítics i diagenètics fou analitzada en 26 làmines primes recobertes de carboni, utilitzant la microsonda electrònica dels Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona i dels laboratoris del Centre d'Informatique Geologique de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris. Ambdues microsondes estaven equipades amb un detector d'electrons retrodifosos (BSE). Les condicions operatives foren d'un voltatge d'acceleració de 20 kV i d'un corrent de feix d'electrons de 22 kV.

Per a complementar les observacions petrològiques i observar els hàbits i les relacions genètiques de les mineralogies diagenètiques, sobretot les de natura microcristal·lina, s'analitzaren 21 mostres recobertes amb carboni al microscopi electrònic de rastreig (SEM) model J-840 provist amb EDAX a un voltatge d'acceleració de 15 kV als Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona.

Finalment, la present memòria és el resultat de la tasca realitzada durant l'etapa de gabinet. Aquest Treball de Recerca pretén conjuntar els resultats de tot el treball realitzat fins al moment i de les principals conclusions que s'en dedueixen amb l'objectiu de donar una visió global i completa sobre el subjecte d'estudi.

**Taula A.** Taula utilitzada per al comptatge de les làmines primes de Montjuïc. Abreujaments a la taula C.

**NOM DE LA LÀMINA:**

**DATA:**

**MIDA DE GRA:**

**Nº DE PUNTS APROX.:**

**SELECCIÓ:**

<b>DETRÍTICS MAJORITARIS</b>					
<b>Quars detrític</b>					
Q.m.					
Q.p. groller					
Q.p. fi					
Q.p. filonià					
Chert					
Q.F.R. gr.					
Q.F.R. ap.					
Q.F.R. peg.					
Q.F.R. porf.FK					
Q.F.R. porf.Plag.					
Q.F.R. fil.Si					
Q.F.R. esq.					
Q.F.R. volc.					
Q.F.R. plut. desc.					
<b>Feld. K detrític</b>					
Or.					
Micr.					
FK p.					
FK F.R. gr.					
FK F.R. ap.					
FK F.R. peg.					
FK F.R. porf.FK					
FK F.R. porf.Plag.					
FK F.R. esq.					
FK F.R. plut. desc.					
<b>Plagioclasi detrítica</b>					
Plag.					
Plag. F.R. gr.					
Plag. F.R. ap.					
Plag. F.R. peg.					
Plag. F.R. porf.FK					
Plag. F.R. porf.Plag.					
Plag. F.R. volc.					
<b>Lítics fins (&lt;0.062 mm)</b>					
Radiolarita					
F.R.ap.					
F.R.porf.FK					
F.R.porf.Plag.					
F.R.fil.					
F.R.fil.Si.					
F.R.esq.					
F.R.volc.					
F.R.silt.					
<b>DETRÍTICS ACCESSORIS</b>					
Bioc.					
Micritic intraclast					
Mosc.					
Biot. oxidada					
Biot.					
Cl.					
Mosc.en ap.					
Mosc. en peg.					
Mosc.en met.					
Biot.en gr.					

Biot.en ap.					
Biot.en peg.					
Cl.en volc.					
Clorita en plut.					
Zoisita					
Turmalina					
Zircó					
Intr. silcr.					
Taula A (continuació)					
Còdol tou					
Alterita					
<b>MATRIU</b>					
Matr. lut.					
Matr. micr.					
<b>PRODUCTES DIAGENÈTICS</b>					
Pseudomat. en met.					
Pseudomat. en FK					
Cc inter. esp.					
Cc neomòrfica					
Cc en Q					
Cc en FK					
Cc en F.R.					
Cc en Q.ov.					
Cc en FK ov.					
Ortom. $\mu$ Q-ill.					
$\mu$ Q inter.					
Q.ov.					
Q drus.					
Q en FK					
Q en gra indet.					
FK ov.					
FK en FK					
Ill. inter.					
Cao. inter.					
Ill Pore-linning					
Ill. en FK					
Ill. en FK en FR					
Cao. en FK					
Cao. en FK en F.R.					
Arg. en Plag.					
Arg. en Plag. en F.R.					
Òx. en FK					
Pore-filling Òx.					
Coating Òx.					
Rutil					
Pirita					
Glaucony					
Vermic.					
<b>DIAGENESI EN FRACTURES</b>					
Bar. inter.					
Opal inter.					
L/S Ch inter.					
L/F Ch inter					
Lut. inter					
Lut. intra					
$\mu$ Q inter.					
Bar. frac.					
Opal frac.					
L/S Ch frac.					
L/F Ch frac.					
Lut. frac					
$\mu$ Q frac.					
<b>POROSITAT</b>					

Inter.					
Intra. en bioc.					
Intra. FK					
Intra. Plag.					
Intra. F.R.					
Intra. gra indt.					
Fractura					
Mòldica dis. sílice					
<b>Coordenades línia</b>	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5



## 5. ESTRATIGRAFIA I SEDIMENTOLOGIA

---

### 5.1. Introducció

Clàssicament, els materials que formen la muntanya de Montjuïc han estat considerats del Miocè (Almera, 1898; San Miguel de la Cámara, 1912; Faura y Sans 1917; Llopis, 1942a; Magné, 1978). La sèrie estratigràfica de la muntanya de Montjuïc sobrepassa els 200 m de potència i està formada per una alternança d'unitats de gresos i conglomerats i unitats lutítiques (Villalta i Rosell, 1965), que cabussen lleugerament cap al NW (0° a 10°). Els nivells amb gresos i conglomerats solen estar ben cimentats i tenen un caràcter massiu degut a la intensitat dels processos diagenètics que han sofert i que han esborrat pràcticament totes les estructures sedimentàries originals. Els nivells més fins estan formats per capes isòpaques de llims i margues grises amb gran continuïtat lateral.

El vessant SE de la muntanya és el que ofereix els millors afloraments del Miocè (fig. 4 i 6). El seu perfil abrupte, escolpit per la falla del Morrot, mostra un tall NE-SW dels materials miocens des de la base fins al sostre, els quals es disposen segons un anticlinal lax. Mirant la muntanya des del port, a grans trets, hom pot distingir amb facilitat tres parts ben diferenciades. Allà on s'assenta el Far de Montjuïc hi apareix un nivell margós que forma un petit replà. Per sota del Far i fàcilment observable des de la Ronda Litoral, la base de la muntanya és constituïda per gresos i conglomerats massius i ben cimentats. Per sobre del Far i fins a sota del Castell de Montjuïc afloren capes poc potents de gresos massius que, en alguns punts, s'atasconen lateralment. Cap al NE, en direcció a Miramar i per sobre de tots aquests materials apareix un potent nivell margós de color blau sobre el que es disposen, on s'ha construït el Mirador de l'Alcalde i el Camp de Tir, unes capes de gresos massius. En aquest vessant és on s'han realitzat les seccions estratigràfiques

(fig. 7 i ANNEX I) que han servit per definir les diferents unitats estratigràfiques i per caracteritzar sedimentològicament aquests materials.

#### *Secció de Riviere*

Primera i més basal de totes les seccions, es troba adossada als terrenys de l'antiga fàbrica de teixits Riviere S.A. i s'hi accedeix des de la carretera del Far (fig. 5). La sèrie, que s'inicia a la base de la muntanya, comença amb gresos i conglomerats massius i acaba a la part superior d'aquests materials, on trobem un nivell conglomeràtic guia de gran extensió lateral. La secció mesura 42 m en total (ANNEX I). Durant la realització d'aquesta secció s'ha realitzat un mostreig detallat de les capes de gres (Mostres FMR - 21 a FMR - 34).

Tot i que en aquesta secció s'han analitzat els nivells més basals del Miocè de la muntanya, els afloraments de gresos i conglomerats que afloren al llarg de l'estació de tren del Morrot (Port de Barcelona) queden estratigràficament per sota. Les males condicions d'aflorament només han permès la realització d'un mostreig d'aquests materials (Mostres FMR - 14 a FMR - 18).

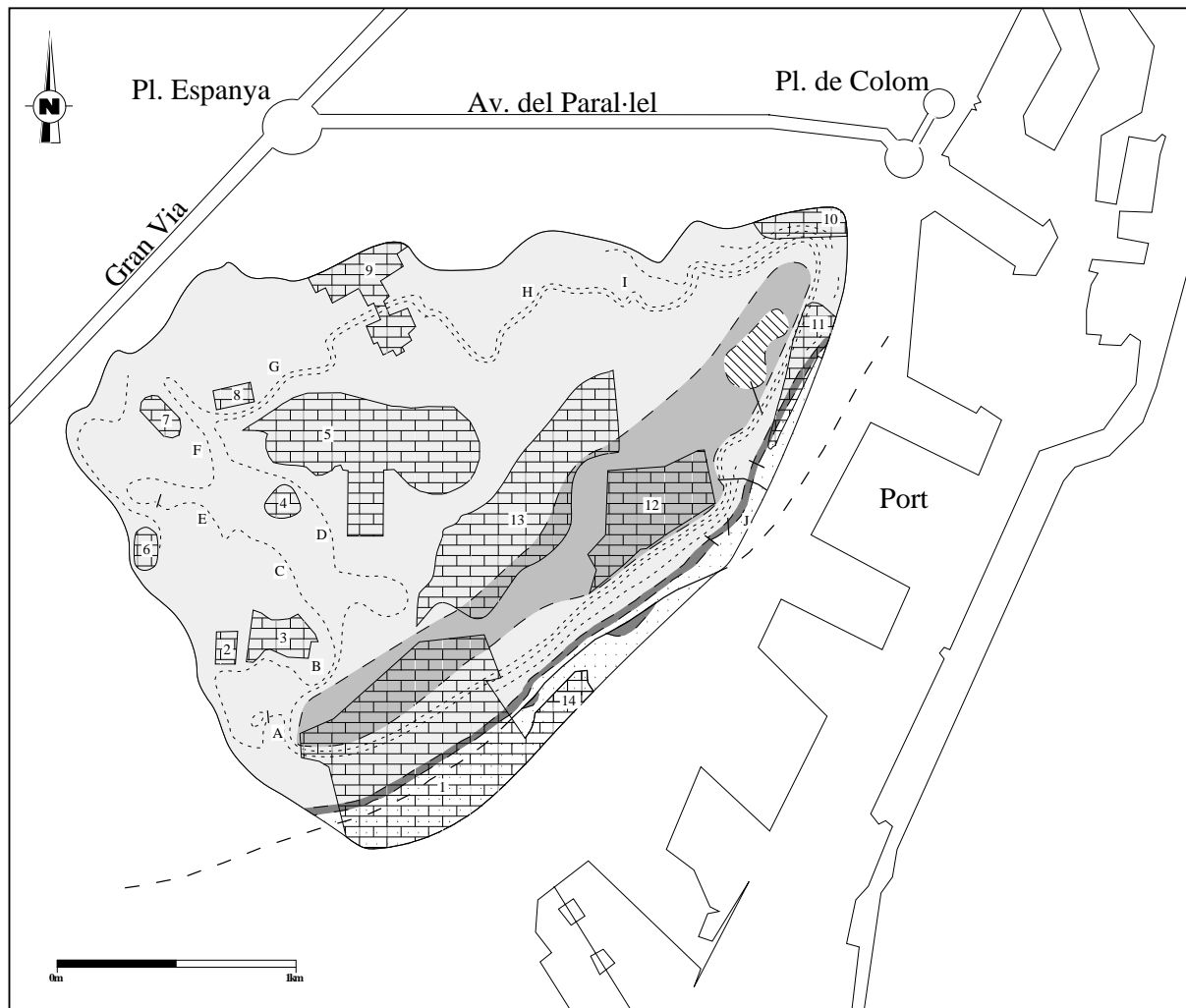
#### *Secció del Morrot*

Per realitzar aquesta secció cal pujar per la carretera de Miramar i prendre un corriol cap al S en el punt en que aquesta fa un pronunciat revolt (fig. 5). Aquest corriol condueix fins a l'indret anomenat Morrot (punt més avançat al mar del vessant E de la muntanya). Aquesta secció és la més potent de totes, mesura 110 m (ANNEX I). La base es troba 7 m per sota del nivell conglomeràtic guia on acaba la secció de Riviere i la secció acaba a les capes de gresos que queden per sota del Castell de Montjuïc (fig. 5). S'ha realitzat un mostreig, principalment dels gresos, però també de les margues, llims i lutites d'aquesta secció (Mostres FMM - 1 a FMM - 34).

#### *Secció del Jardí de Cactus*

Aquesta secció ha estat aixecada per damunt dels jardins del Mossèn Costa i Llobera (fig. 5). L'inici es troba just abans d'arribar a Miramar pujant per la carretera que duu a aquest mateix indret i s'ha realitzat avançant en direcció al Camp de Tir. La secció mesura 43 m, comença a la base dels gresos de sota el Castell i acaba per sobre de la capa de gresos massius que afloren al Mirador de l'Alcalde (ANNEX I). La base d'aquesta secció enllaça amb la part superior de la secció del Morrot (fig. 5). S'han pres mostres dels gresos i de les margues (Mostres FMJ - 1 a FMJ - 18).

El vessant W de la muntanya té pocs afloraments naturals, ja que el seu suau pendent és originat per les mateixes capes de Miocè que s'enfonsen a la ciutat de Barcelona i queden cobertes pels materials del Pliocè i del Quaternari del delta del Llobregat. Els principals afloraments d'aquest vessant són els murs de les antigues pedreres (Álvarez, 1987 i 1988). De S cap a N podem trobar els talls del Fossar del Jueus, del Sot del Migdia, del Club de Natació Montjuïc, de l'estadi Joan Serrahima, de la Foixarda, del Teatre Grec, de St. Madrona i del Mirador del Poble Sec (fig. 4). Cartogràficament, es constata que les mateixes capes de gresos massius i ben cimentats sobre les que reposa el Castell són les que afloren únicament en aquest vessant i, per tant, són les que han proporcionat gran part dels blocs de pedra utilitzats per a construcció. Tot i que no s'ha aixecat cap secció en aquest vessant de la muntanya, on els afloraments són excessivament parcials, s'ha realitzat un mostreig tant dels gresos com de les nombroses fractures que clivellen aquests materials (Mostres FMP - 1 a FMP - 14).



**Zones intensament modificades per l'activitat antròpica**

- 1-Cementiri de Montjuïc
- 2-Camp de Futbol de la Bàscula
- 3-Sot del Migdia
- 4-Camp de Beisbol Carlos Pérez de Rozas
- 5-Anella Olímpica
- 6-Camp de Rugbi del Club Natació Montjuïc
- 7-Estadi Joan Serrahima
- 8-Camp de Rugbi de la Fuixarda
- 9-Palau Nacional, Palau de Victòria Eugènia i Palau d'Alfons XIII
- 10-Mirador del Poble Sec
- 11-Jardins de Mossèn Costa i Llobera
- 12-Castell de Montjuïc
- 13-Nou Jardí Botànic
- 14-Fabrica de teixits Riviere S.A.

**Principals pedreres explotades històricament**

- A-Pedrera de la Fossa Comuna
- B-Pedrera F.O.C. (Fomento de Obras y Construcciones)
- C-Pedrera del "Màrmol"
- D-Pedrera Mussòl
- E-Pedrera Borinot
- F-Pedrera Safont
- G-Pedrera de la Fuixarda o del Llac
- H-Pedrera del Teatre Grec
- I-Pedrera de St. Madrona
- J-Pedrera del Morrot

**LLEGENDA:**

- Unitat de conglomerats, gresos i lutites del Mirador
- Unitat de margues de Miramar
- Unitat de conglomerats, gresos i lutites del Castell
- Unitat de margues del Far
- Unitat de conglomerats i gresos del Morrot
- Zones intensament afectades per l'activitat antròpica
- Límit entre diferents unitats litològiques
- Principals línies de capa
- Falla

**fig. 4.** Cartografia de les unitats litostratigràfiques del Miocè de Montjuïc. Inclou les àrees més modificades per l'acció de l'home i les principals pedreres explotades antigament i que encara són visibles.



## 5.2. Litostratigrafia i sedimentologia

Considerant la litologia i l'organització dels seus estrats, la sèrie miocena de Montjuïc ha estat agrupada en cinc unitats litostratigràfiques segons les seves característiques litològiques (Gómez-Gras *et al.*, 1998). Els límits d'aquestes unitats coincideixen amb canvis litològics nets i són cartografiats al llarg de tota la muntanya (fig. 4 i 5).

De base a sostre les unitats litostratigràfiques del Miocè de Montjuïc són (fig. 7): (1) Unitat de gresos i conglomerats del Morrot; (2) Unitat de margues i llims del Far; (3) Unitat de lutites, gresos i conglomerats del Castell; (4) Unitat de margues de Miramar i (5) Unitat de lutites, gresos i conglomerats del Mirador.

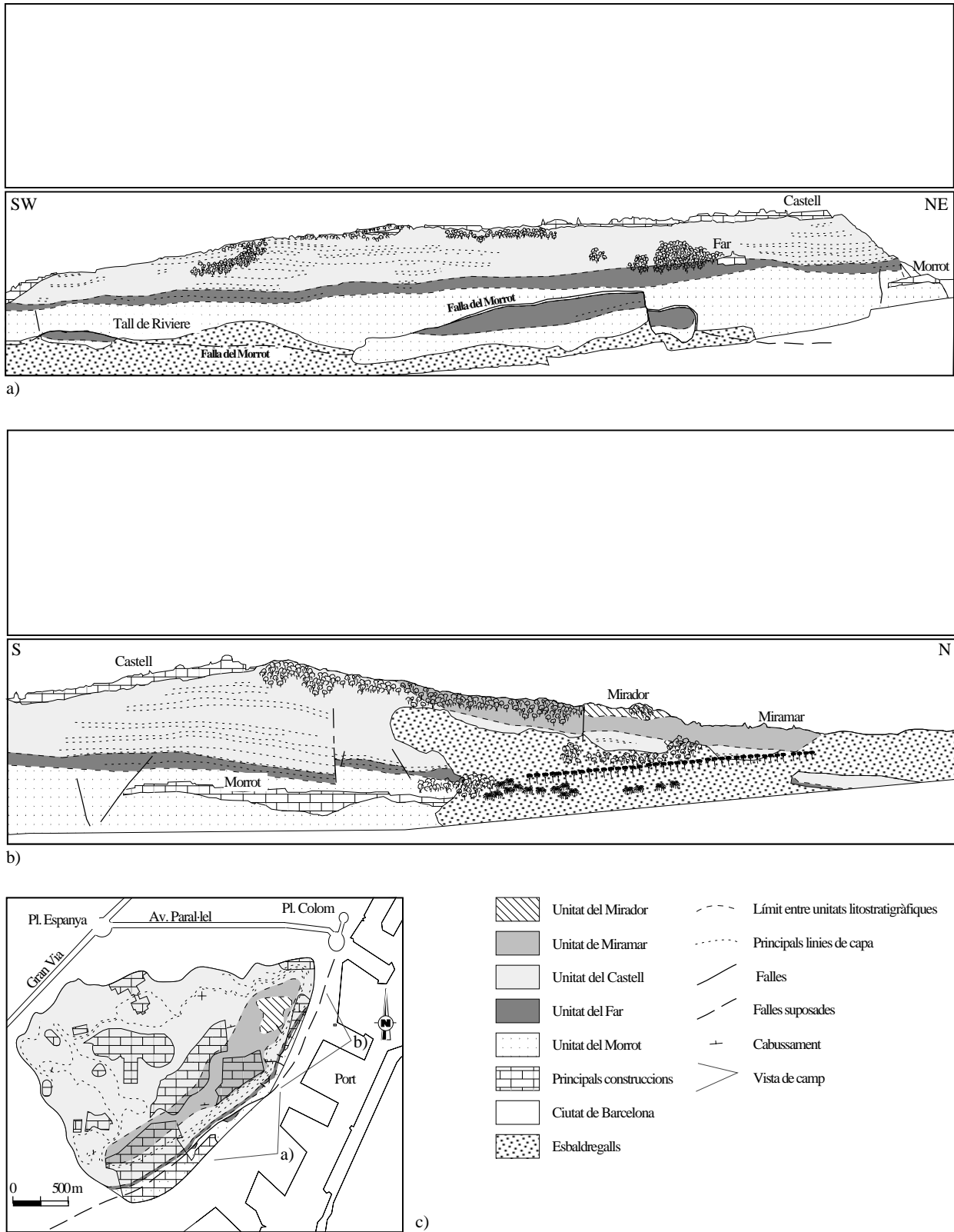
### *Unitat de gresos i conglomerats del Morrot*

Aquesta unitat mesura 80 m de potència i s'organitza en dos paquets decamètrics formats per capes massives de conglomerats i gresos ben cimentats (30 i 40 m de potència respectivament). Aquests dos paquets estan separats per un nivell margós bioturbat de color crema d'uns 10 m de potència. L'estratificació és bàsicament horitzontal, té una elevada continuïtat lateral i s'identifica per canvis granulomètrics generals en els gresos i conglomerats. L'aspecte massiu d'aquesta unitat no permet observar gaires estructures sedimentàries (Làmina I C).

La part superior d'aquesta unitat està formada per 20 m de gresos i conglomerats amb freqüents bases erosives i incisions canaliformes en els estrats infrajaccents (Làmina I B), els quals forneixen fragments intraformacionals als conglomerats. Aquesta part de la sèrie es caracteritza per una cimentació diferencial molt acusada que guarda certa relació amb l'estratificació. Al damunt apareixen 7 m de gresos fins amb *climbing ripples* i fragments de mol·luscs, que mostren cimentacions noduloses de composició carbonàtica (calcita; Làmina II A i B). El sostre d'aquesta unitat està coronat per un nivell de gresos amb ciment carbonàtic (50 cm de potència), que freqüentment apareix retreballat formant intraclasts. En aquesta unitat, generalment ben cimentada (silicificació), massissa i de color granatós, destaquen zones irregulars d'ordre mètric, poc cimentades i de color ocre o bé amb tonalitats blanquinoses i rogenques (Làmina I A i B).

L'heterogeneïtat granulomètrica, l'absència de fauna marina i la presència d'incisions canaliformes caracteritzen aquests dipòsits com a dipòsits de plana deltaica. Els gresos i

conglomerats amb incisions canaliformes de la part superior d'aquesta unitat es dipositaren a la plana deltaica d'un delta trenat (*braid delta*; Nemec i Steel, 1988). Els darrers 7 metres d'aquesta unitat presenten una granulometria fina i homogènia, fauna marina i laminació tipus ripple i s'han interpretat com a dipòsits de platja (*foreshore*) amb una superfície transgressiva d'erosió (*ravinement surface*) al sostre.



**fig. 6.** Disposició de les unitats litostratigràfiques miocenes de Montjuïc. a) Vista del flanc SE. b) Vista del flanc E. c) Situació de les dues vistes a la muntanya de Montjuïc.



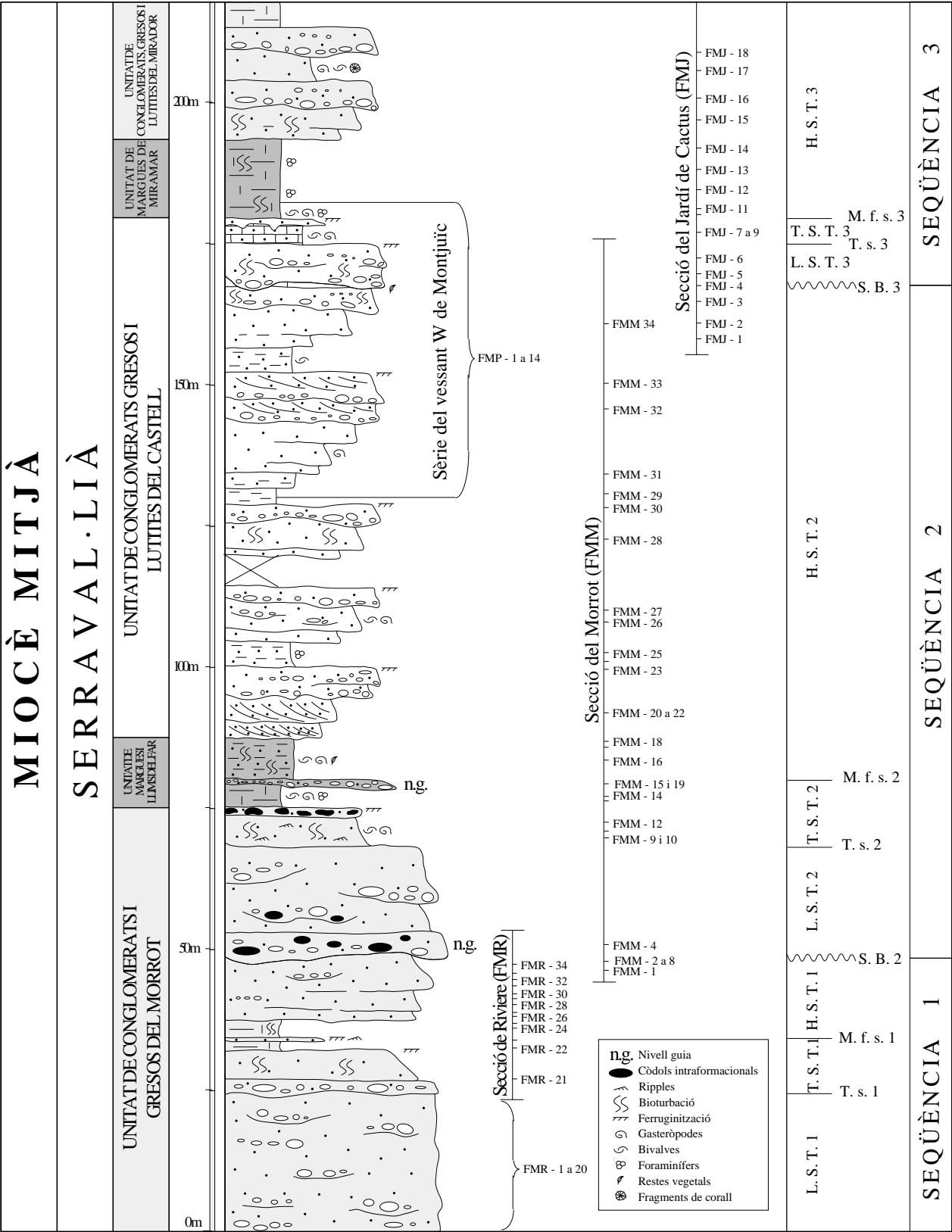


fig. 7. Sèrie estratigràfica general del Miocè de Montjuïc. L.S.T. = Lowstand system tract. T.S.T. = Transgressive system tract. H.S.T. = Highstand system tract. T.s. = Transgressive surface. M.f.s. = Maximum flooding surface. S.B. = Sequence boundary.

### *Unitat de margues i llims del Far*

Aquesta unitat de color gris està composta per capes massives a laminades de llims i margues bioturbades i té uns 11 m de potència (Làmina I C). La part inferior està formada per 4 m dominantment margosos, mentre que la part superior és principalment llimosa i mesura 7 m de potència. Ambdós nivells estan separats per un nivell guia de conglomerats siliciclàstics (30 cm de potència) que pot ser traçat al llarg de tots els afloraments. El contingut fòssil d'aquesta unitat és elevat, principalment conté gasteròpodes i bivalves, però també apareixen restes vegetals, pelets i burrows pirititzats.

Degut a la disminució granulomètrica i a la presència de fòssils marins considerem que la part inferior margosa d'aquesta unitat s'ha format en un medi de platja (*shoreface*), en el qual el nivell conglomeràtic guia representa un dipòsit de *chenier*. La part llimosa és formada per dipòsits de front deltaic distal i genèticament estaria relacionada amb la progradació de la unitat superior.

### *Unitat de lutites, gresos i conglomerats del Castell*

Aquesta unitat mesura 93 m de potència i es caracteritza per l'alternança de lutites i margues grises amb gresos i conglomerats arenosos ben cimentats (Làmina I C i D). Aquests materials estan organitzats en cinc cicles grano i estratocreixents de 15 a 20 m de potència cadascun. La part inferior de cada cicle està formada per llims i argiles, de vegades amb mol·luscs, que passen cap al sostre a fines capes de gres on ocasionalment s'hi poden observar ripples. Per sobre, les capes de gres prenen potències d'entre 3 i 8 m; localment s'observa estratificació encreuada i superfícies erosives de truncament. Tot i així, la majoria d'afloraments presenten un aspecte massiu i una granulometria homogènia entre mitja i grollera. Al sostre dels cicles apareixen capes granodecreixents de conglomerats arenosos a gresos molt fins de 1,5 a 5 m de potència. Aquestes capes tenen bases erosives que poden truncar els estrats inferiors. Normalment són capes massives, però localment poden presentar estratificació encreuada o planar. Els cicles estan coronats per un nivell ferruginós intensament bioturbat. Per damunt d'aquests cinc cicles hi ha 5,2 m de gresos i conglomerats massius organitzats en 3 capes granodecreixents amb base erosiva. Entre aquestes capes i el cinquè cicle hi pot haver una petita capa de 50 cm de lutites que sol estar totalment erosionada pels estrats conglomeràtics superiors; en aquesta capa s'han trobat restes de plantes. Finalment, apareixen 5,1 m de calcisiltites bioturbades amb gasteròpodes i ostrèids intercalades amb margues grises. És aquesta part de la unitat d'on probablement provenen els fragments de

corall trobats a Montjuïc (Cabrera, 1973). El sostre de la unitat és coronat per una crosta ferruginosa.

Els cinc cicles grano i estratocreixents de la Unitat del Castell han estat interpretats com cinc barres de desembocadura (*stream mouth bars*) dipositades en un front deltaic proximal en progració. Els sostres ferruginitzats i bioturbats de cada cicle són conseqüència d'exposició subaèria, mentre que la base dels cicles representa una superfície d'inundació. Els conglomerats i gresos que es troben al damunt dels cinc cicles corresponen a canals de plana deltaica i les margues i calcisiltites amb fauna marina són interpretades com a dipòsits de platja (*shoreface*).

#### *Unitat de margues de Miramar*

Aquesta unitat està formada per 15 m de margues blau-verdoses (Làmina I D). Els dos primers metres contenen abundant fauna de bivalves, equinoderms, foraminífers planctònics, burrows ferruginitzats i restes de plantes, mentre que a la resta de la unitat no hi ha un important contingut fòssilífer.

Per la presència de foraminífers planctònics, per la litologia margosa de la unitat i pel pas transicional cap a la unitat superior, s'han interpretat aquests materials com a dipòsits prodeltaics.

#### *Unitat de lutites, gresos i conglomerats del Mirador.*

La Unitat del Mirador aflora discontinuament, la seva potència mínima és d'aproximadament 20 m i està formada per gresos i conglomerats massius organitzats en un cicle grano i estratocreixent (Làmina I D). En aquesta unitat s'han trobat fòssils de mol·luscs.

Les fàcies d'aquesta unitat s'interpreten com a pròpies d'un front deltaic proximal, ja que estan organitzades en un cicle grano i estratocreixent propi de barres de desembocadura deltaiques.

La formació del delta de Montjuïc està estretament relacionada amb l'evolució tectònica del marge català del Solc de València. El fet que aquest delta recobreixi els paleorelleus originals del graben de Barcelona implica que la seva formació està relacionada amb els darrers estadis de reompliment del graben de Barcelona, és a dir, l'etapa de *post-rift* definida per Sans *et al.* (1998) en aquesta conca.

### 5.3. Cronostratigrafia

El mostreig fet en els nivells de granulometria més fina ha permès realitzar un estudi sobre el contingut en foraminífers. Aquest estudi ha estat dut a terme pel Dr. Civís de la Universitat de Salamanca. Les mostres estudiades (fig. 7) han estat la FMR - 24, que correspon al petit nivell de margues de la Unitat del Morrot; la FMM - 14, agafada a les margues de la Unitat del Far; la FMM - 25, presa a les lutites intercalades entre el primer i el segon cicle de la Unitat del Castell i les mostres FMJ - 11, FMJ - 12, FMJ - 13 i FMJ - 14, que han estat preses a les margues de la Unitat de Miramar.

La mostra FMR - 24 presenta algun individu del foraminífer bentònic *Ammonia beccarii*. La mostra FMM - 14 no presenta foraminífers, mentre que la mostra FMM - 25 té foraminífers bentònics (*Ammonia beccarii* i *Nonion boueanum*) sense valor cronostratigràfic. A les mostres FMJ - 11, FMJ - 12, FMJ - 13 i FMJ - 14 s'han trobat foraminífers planctònics i bentònics. Els principals foraminífers planctònics són *Globigerinoides quadrilobatus*, *Globigerinoides quadrilobatus morf. inmaturos*, *Globigerinoides quadrilobatus morf. trilobus* i *Globigerinoides quadrilobatus quadrilobatus*. La taula B presenta les diferents espècies trobades a Montjuïc.

**Taula B.** Foraminífers trobats al Miocè de Montjuïc.

	Unitat del Morrot	Unitat del Castell	Unitat de Miramar	Espècie
F. planctònic			xxx	<i>Globigerinoides quadrilobatus</i>
			xxx	<i>Globigerinoides quadrilobatus morf. inmaturos</i>
			xxx	<i>Globigerinoides quadrilobatus morf. trilobus</i>
			xxx	<i>Globigerinoides quadrilobatus quadrilobatus</i>
			x	<i>Orbulina suturalis</i>
			x	<i>Orbulina universa</i>
			x	<i>Globigerina decoperata</i>
			x	<i>Globigerina sp.</i>
			x	<i>Globigerinoides obliquus</i>
			x	<i>Globigerinoides sacculifer</i>
			x	<i>Globoquadrina deshicens</i>
			x	<i>Globorotalia obesa</i>
			x	<i>Globorotalia archaeomenardii</i>
F. bentònic	x	xx	xxx	<i>Ammonia beccarii</i>
		xx	xxx	<i>Nonion boueanum</i>
		x		<i>Lagenodosaria sp.</i>
		x		<i>Reussella spinulosa</i>
		x		<i>Spiroplectammina carinata</i>
		x		<i>Lenticulina inornata</i>
		x		<i>Bulimina sp.</i>
			x	<i>Cancris auriculus</i>
			x	<i>Globobulimina pyrula</i>
			x	<i>Bulimina elongata</i>
			x	<i>Textularia sp.</i>
			x	<i>Sigmoilinita tenuis</i>
			x	<i>Marginulina costata</i>
			x	<i>Glandulina laevigata</i>
			x	<i>Orthomorphina tenuicostata</i>
			x	<i>Cassidulinoides bradyi</i>
			x	<i>Hopkinsina bononiensis</i>
			x	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>
			x	<i>Fursenkoina schreibersiana</i>
			x	<i>Chilostomella oolina</i>
			x	<i>Gyroidina umbonata</i>
			x	<i>Cobcidoides sp.</i>

La presència de *Orbulina universa* i de *Globorotalia archaeomenardii* a les mostres de la Unitat de Miramar assigna aquests materials a les biozones N9 i N10 de Blow (1969). La presència de *Orbulina universa* indica l'inici del Serraval·lià, mentre que la fi d'aquest estatge és marcada per la desaparició de *Globorotalia archaeomenardii* (Bolli & Saunders, 1985). Per tant es pot afirmar que els materials de Montjuïc són del Miocè mitjà, concretament de l'estatge Serraval·lià. Bergren *et al.* (1995) marquen l'inici d'aquest estatge a 14.8 Ma i la fi a 11.2 Ma.

#### 5.4. Estratigrafia seqüencial

A partir de la distribució de les diferents fàcies dins de la sèrie general de Montjuïc, es poden establir les principals variacions del nivell relatiu del mar durant la seva sedimentació. L'anàlisi seqüencial involucra tres seqüències de tercer ordre (Van Wagoner *et. al.*, 1990) a la sèrie del Miocè de Montjuïc (fig. 7).

##### *Seqüència 1*

És una seqüència incompleta (50 m visibles de potència), ja que la seva base no aflora en cap punt de la muntanya. Abasta part de la Unitat del Morrot, des del seu inici fins a la base erosiva marcada per la incisió de canals a la part mitja del segon paquet conglomeràtic.

S'inicia amb un prisma de nivell de mar baix (L.S.T. 1). La disminució granulomètrica al sostre del primer paquet conglomeràtic de la Unitat del Morrot i el nivell de margues del seu damunt marquen un aprofundiment de la conca, és l'inici del prisma transgressiu (T.S.T. 1). El final de la transgressió és marcat per una petita capa de gresos fins amb el sostre ferruginitzat, que equival a la superfície de màxima inundació (M.f.s. 1), a partir d'aquí es desenvolupa el prisma de nivell de mar alt (H.S.T. 1) format per fàcies progradants de plana deltaica.

##### *Seqüència 2*

És la seqüència més potent de totes (aproximadament 125 m de potència) i l'única que apareix completa. Comença a la part superior de la Unitat del Morrot, engloba també la Unitat del Far i gran part de la Unitat del Castell fins al sostre del cinquè cicle d'aquesta unitat.

El seu inici és un límit de seqüència de tipus 1 (S.B. 2), el qual està indicat per la incisió de canals amb conglomerats intraformacionals en el paquet superior de la Unitat del Morrot. En aquest punt s'inicia el prisma de nivell de mar baix (L.S.T. 2). La base dels gresos de platja de la part superior de la unitat del Morrot indica una superfície de transgressió (T.s. 2) i l'inici del

prisma transgressiu (T.S.T. 2). El sostre ferruginitzat de la capa conglomeràtica guia de la unitat del Far és la superfície de màxima inundació (M.f.s. 2). A partir d'aquest punt es desenvolupa un potent prisma de nivell de mar alt (H.S.T. 2) caracteritzat per fàcies de front deltaic en clara progració, les quals comprenen el tram llimós de la Unitat del Far i els cinc primers cicles de la Unitat del Castell.

### *Seqüència 3*

Aquesta seqüència es desenvolupa des de la part superior de la Unitat del Castell fins al final de la sèrie del Miocè de Montjuïc (aproximadament 40 m visibles) tot i que el seu límit superior no pot ser establert.

La base erosiva de les capes conglomeràtiques que queden al damunt del cinquè cicle de la Unitat del Castell és el límit entre la segona i la tercera seqüències (S.B. 3) i marca l'inici d'un nou prisma de nivell de mar baix (L.S.T. 3) format per canals conglomeràtics de plana deltaica. La disminució de la granulometria i l'aparició d'abundant fauna marina al sostre d'aquests canals caracteritza la retrogradació del prisma transgressiu (T.S.T. 3) fins a la superfície de màxima inundació (M.f.s. 3) marcada per una ferruginització del sostre de la Unitat del Castell. A partir d'aquest punt, les Unitats de Miramar i del Mirador de l'Alcalde formen el darrer prisma de nivell de mar alt (H.S.T. 3) de la sèrie.

L'anàlisi de l'estratigrafia seqüencial de la sèrie miocena de Montjuïc és correlacionable amb la corba Exxon de canvis relatius del nivell del mar realitzada per Haq *et al.* (1988), ja que durant el Serraval·lià hi ha tres cicles de tercer ordre.

## **6. PETROLOGIA**

---

### **6.1. Introducció**

La descripció petrològica dels gresos de Montjuïc s'ha dut a terme a partir de l'observació detallada de làmines primes i del comptatge d'aquestes per tal de poder quantificar els diferents components de la roca. Els components d'un gres es poden dividir a grans trets en components detrítics i diagenètics, en aquest apartat s'intenta fer una descripció detallada d'ambdós categories a més de descriure en detall el rebliment de les nombroses fractures que afecten als gresos. Aquesta descripció s'ha fet des d'un punt de vista geomètric i químic, sense aprofundir en consideracions genètiques les quals són abordades en els propers capítols.

### **6.2. Composició detrítica**

Els materials detrítics de Montjuïc presenten una àmplia varietat granulomètrica, que abasta totes les mides de gra possibles, des del llim fins a la rudita. El grau d'arrodoniment és mig a alt i l'esfericitat és variable però sol ser alta.

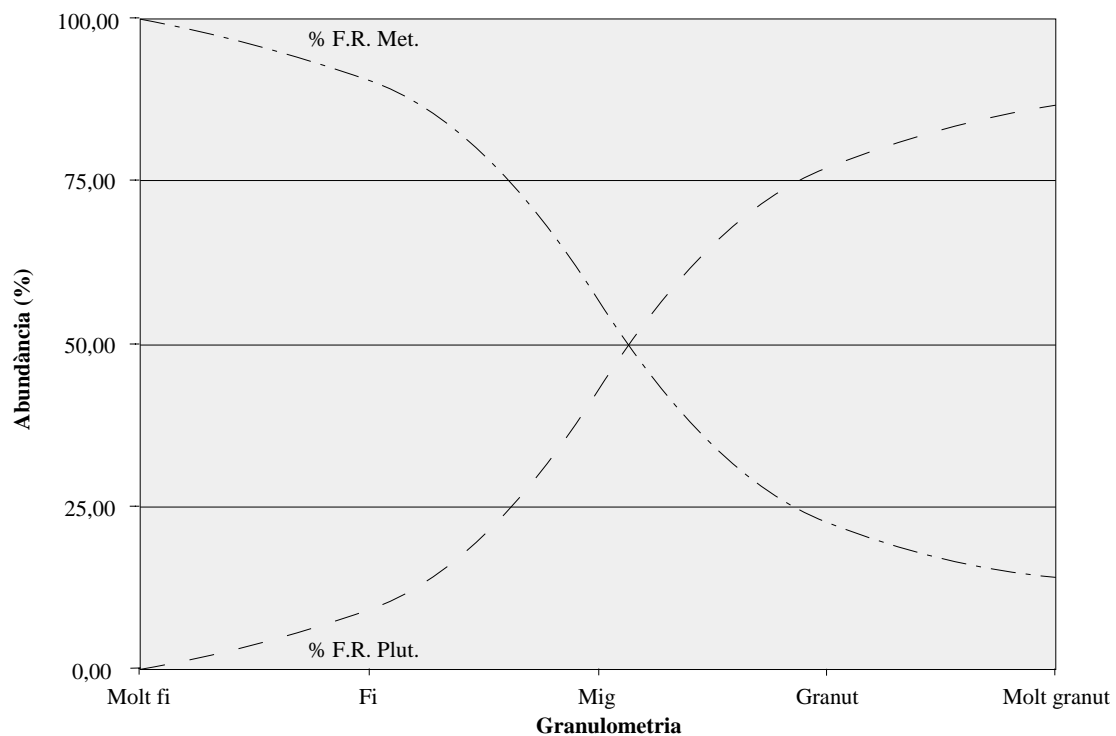
Composicionalment són gresos immadurs, amb quantitats importants de feldspats potàssics i fil·lites. En general, es poden classificar com litarenites o com grauvaques lítiques depenent de si el seu contingut en matriu excedeix o no el 15% (Dott, 1964). La composició és essencialment siliciclàstica, amb una gran diversitat de fragments de roca procedents de la serralada Litoral (Almera, 1880).

Quantitativament (Taula C), l'esquelet de la roca està format per quars (32,3 %), essent molt superior la tipologia monocristal·lina respecte a la policristal·lina; fragments de roca (11,6 %), essencialment d'origen plutònic i metamòrfic; feldspat potàssic (8,0 %), predominant l'ortosa

sobre la microclina i plagiòclasi (0,6 %) (Làmina III A). Com a accessoris apareixen biotita, moscovita, zircó, clorita, turmalina, còdols tous i intraclasts de gresos cimentats per sílice. Als gresos intercalats a les unitats margoses (El Far i Miramar) o formats en ambients deposicionals marins apareixen bioclasts (0 - 10 %; Làmina III B) i intraclasts micrítics (0 - 2,2 %), a la resta de gresos els fragments carbonàtics han estat dissolts, reemplaçats per sílice o hi són absents.

El feldspat potàssic es troba en diferents graus d'alteració (Làmina III C), des de totalment fresc a totalment alterat a il·lita (2,0 %) i a caolinita (0,1 %) i sovint presenta una envolta d'òxids de ferro. La plagiòclasi és absent i forma porositat secundària en els fragments de roca (Làmina III D), tan sols es troba fresca a les unitats del Castell i del Mirador. Cal remarcar l'escassetat de miques a tota la sèrie, mentre que a l'àrea font la presència d'aquests minerals és important.

La composició de l'esquelet no és homogènia, s'observen diferències entre els gresos de granulometries fines i els de granulometries mitges o superiors (fig. 8):



**fig. 8.** Gràfic d'abundància relativa dels fragments de roca metamòrfics i plutònics segons la granulometria d'un gres.

Als gresos de mida fina hi ha un predomini dels fragments de roca metamòrfics (6,7 - 23,7 %), en concret i per ordre d'abundància: fil·lita micàcia (7,9 %), esquist (2,1 %) i fil·lita silícia (1,2



%). Els fragments de roca plutònica també poden ser importants (0,8 - 7,4 %), per ordre d'abundància: granit (1,8 %), aplita (1,5 %), pòrfir granític (0,4 %) i pegmatita (0,2 %).

Als gresos de mida mitja a granuda dominen els fragments plutònics (6,3 - 21,1 %), en concret i per ordre d'abundància: granit (6,2 %), pegmatita (2,9 %), aplita (2,7 %) i pòrfir granític (1,5 %). Els fragments metamòrfics (3,8 - 8,7 %) són per ordre d'abundància: esquist (2,4 %), fil·lita silícia (2,2 %) i fil·lita micàcia (2,0 %); és remarcable que en aquestes granulometries els fragments metamòrfics dominants són aquells amb litologies més dures.

*Taula C. Composició modal mitjana dels gresos de Montjuïc desglossats segons l'ambient deposicional de formació.*

Unitat	U. Morrot Planadelta.	U. Morrot Platja	U. Far Frontdelta.dis.	U. Castell Frontdelta.prox.	U. Castell Platja	U. Mirador Frontdelta.
Número de comptatges	5	1	2	6	1	2
Component	%	%	%	%	%	%
<b>Quars detrític</b>	<b>33,02</b>	<b>31,47</b>	<b>22,60</b>	<b>41,42</b>	<b>32,60</b>	<b>32,95</b>
Q monocristal·lí	16,72	21,71	17,87	20,66	12,00	13,81
Q policristal·lí granut	6,17	1,99	0,59	6,69	9,60	6,18
Q policristal·lí fi	2,92	6,37	2,93	4,44	3,00	5,47
Q policristal·lí de vena	0,43	--	--	0,03	--	0,20
Q en F.R. granít.	3,60	0,20	--	4,88	3,60	2,64
Q en F.R. aplít.	0,28	--	--	0,47	0,20	0,30
Q en F.R. peg.	0,81	--	--	1,30	0,60	0,51
Q en F.R. porfí.	0,13	--	--	0,17	1,20	--
Q en F.R. fil·lita	--	--	--	0,30	0,20	1,22
Q en F.R. esquist.	0,78	--	0,10	1,24	--	0,60
Q en F.R. plut.	0,47	--	--	0,34	0,40	1,11
<b>Feldspat K detrític</b>	<b>10,12</b>	<b>12,55</b>	<b>8,31</b>	<b>9,38</b>	<b>2,20</b>	<b>5,20</b>
Ortosa	6,84	12,15	7,91	6,61	1,40	3,47
Microclina	0,39	0,20	0,10	0,20	--	--
FK policristal·lí	0,79	--	--	0,40	--	0,20
FK en F.R. granít.	0,83	0,20	0,20	0,83	0,80	0,51
FK en F.R. aplít.	0,49	--	0,10	0,30	--	--
FK en F.R. peg.	0,59	--	--	0,97	--	0,71
FK en F.R. porfí.	0,04	--	--	--	--	--
FK en F.R. plut.	0,16	--	--	0,07	--	0,31
<b>Plagiòclasi detrítica</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>2,74</b>	<b>1,00</b>	<b>0,10</b>
P	--	--	--	2,14	--	0,10
P en F.R. granít.	--	--	--	0,43	0,20	--
P en F.R. porfí.	--	--	--	0,17	0,80	--
<b>Lítics fins (Fragments roca)</b>	<b>10,19</b>	<b>24,10</b>	<b>11,90</b>	<b>7,26</b>	<b>6,80</b>	<b>9,09</b>
Chert	0,86	1,20	1,11	1,04	1,80	0,91
F.R. aplític	1,59	0,40	0,10	1,03	0,20	0,81
F.R. porfí. amb FK	0,94	--	--	0,03	--	0,72
F.R. porfí. amb P	--	--	--	0,27	0,40	--
F.R. Fil·lita micàcia	3,13	23,11	11,41	2,85	1,20	3,13
F.R. Fil·lita silícia	2,69	--	0,10	1,07	2,00	1,21
F.R. esquistós	1,58	0,60	0,10	1,81	3,00	3,23
F.R. volcànic	0,04	--	--	0,07	--	--
F.R. llimós	0,08	--	0,20	--	--	--
<b>Detrítics accessoris</b>	<b>0,48</b>	<b>2,19</b>	<b>4,55</b>	<b>0,37</b>	<b>2,20</b>	<b>2,46</b>
Bioclast	--	0,20	0,21	--	1,00	1,54
Intraclast micrític	--	--	1,19	--	0,20	0,10
Biotita	--	--	1,03	--	0,40	0,10
Biotita oxidada	--	--	0,59	0,03	--	--
Biot. en F.R. plut.	--	--	--	--	--	0,20
Moscovita	0,12	1,19	0,41	0,13	0,20	0,10
Mosc. en F.R. plut.	--	--	--	0,06	--	0,20
Clorita	--	--	0,62	--	0,20	0,10

Turmalina	0,04	0,20	0,10	--	--	0,10
Zircó	0,08	0,60	0,10	0,07	0,20	--
Intraclast silicificat	0,04	--	--	--	--	--
Còdol tou	0,08	--	--	--	--	--
Alterita	0,12	--	0,30	0,07	--	--
<b>Matriu</b>	<b>1,01</b>	<b>0,20</b>	<b>0,80</b>	<b>3,55</b>	<b>26,00</b>	<b>0,10</b>
Matriu lutítica	0,28	0,20	0,50	3,55	--	0,10
Matriu micrítica	0,73	--	0,30	--	26,00	--

Taula C (continuació)

Unitat	U. Morrot P. delta.	U. Morrot Platja	U. Far F. delta. dis.	U. Castell F. delta. prox.	U. Castell Platja	U. Mirador F. delta.
Component	%	%	%	%	%	%
<b>Total diagenètic</b>	<b>42,76</b>	<b>13,55</b>	<b>49,62</b>	<b>31,97</b>	<b>27,20</b>	<b>44,22</b>
Pseudomatriu en F.R. fil.	0,46	4,98	0,10	0,44	--	--
Calcita inter. en mosaic	--	--	29,32	2,40	18,00	14,65
Cc neomòrfica	--	--	0,10	--	2,20	12,40
Cc en gra de Q	--	--	6,31	0,27	--	--
Cc en gra de FK	--	--	2,68	0,20	--	0,31
Cc en F.R.	--	--	1,14	0,65	1,80	0,61
Cc en gra indet.	--	--	0,72	--	--	--
Matriu transf. a Microquars	19,67	--	--	--	--	--
Ciment de MicroQ en gra de Q	0,32	--	--	--	--	--
Ciment de MicroQ inter.	0,59	0,60	--	0,20	--	0,81
MicroQ Reticular intra.	0,04	--	--	0,24	--	--
Sobrecreixement de Q	5,49	2,59	2,18	11,58	--	6,86
Ciment de MesoQ Fullat	4,28	1,00	--	5,24	--	5,04
Ciment de Q en FK	0,20	--	--	--	--	--
Sobrecreixement de FK	1,83	0,20	1,98	3,85	--	0,50
Ciment de FK en gra de FK	0,08	--	--	0,03	--	0,10
Il·lita inter.	--	0,40	--	0,07	--	0,10
Il·lita en pore-lining	--	--	0,10	0,07	--	--
Il·lita en FK	3,03	0,60	0,50	1,41	3,20	0,91
Il·lita en FK en F.R. plut.	0,72	--	0,41	0,27	0,80	0,20
Caolinita en FK	0,34	--	--	0,10	--	--
Caolinita en FK en F.R. plut.	0,10	--	--	--	--	--
Sericita en P	--	--	--	1,07	--	--
Òxids de Fe en Q	--	--	--	0,10	--	--
FeO en F.R. fil.	--	--	--	0,62	--	--
FeO en Mica	0,04	--	--	--	--	--
FeO en FK	0,85	0,20	--	0,41	--	--
FeO en FK en F.R. plut.	0,12	--	--	0,13	--	--
FeO en pore-filling	3,79	1,59	3,37	1,59	--	0,41
FeO en envolta	0,55	--	--	0,79	--	--
Ciment de Baritina inter.	--	--	--	--	--	0,40
Calcedònia intergranular	0,07	--	--	--	--	--
Hematites	0,20	1,39	0,40	0,24	--	0,50
Pirita oxidada	--	--	0,21	--	--	--
Glauconita	--	--	0,10	--	1,20	0,41
<b>Porositat</b>	<b>2,42</b>	<b>15,94</b>	<b>2,21</b>	<b>3,32</b>	<b>2,00</b>	<b>5,87</b>
Intergranular	1,13	10,56	0,61	2,35	1,20	4,54
Intragranular en FK	0,78	0,60	0,30	0,13	0,40	0,92
Intra. en FK en F.R. plut.	0,13	2,59	--	--	--	0,20
Intra. en P	--	--	--	0,64	--	--
Intra en F.R.	--	--	0,10	0,03	0,40	--
Intra. en gra indet.	0,38	2,19	1,21	0,16	--	0,20
<b>Volum de grans (%)</b>	<b>61,39</b>	<b>81,47</b>	<b>60,84</b>	<b>68,07</b>	<b>51,40</b>	<b>53,27</b>
<b>Volum reemplaçat (%)</b>	<b>25,50</b>	<b>0,80</b>	<b>11,87</b>	<b>5,50</b>	<b>8,00</b>	<b>14,54</b>
<b>Volum cimentat (%)</b>	<b>16,81</b>	<b>7,77</b>	<b>37,65</b>	<b>26,03</b>	<b>19,20</b>	<b>29,69</b>
<b>Volum intergranular (%)</b>	<b>38,06</b>	<b>18,53</b>	<b>39,27</b>	<b>31,14</b>	<b>46,40</b>	<b>34,33</b>
<b>Por<sub>0</sub> destruïda comp.*</b>	<b>33,70</b>	<b>53,69</b>	<b>13,56</b>	<b>20,58</b>	--	<b>14,17</b>
<b>Por<sub>0</sub> destruïda ciment.*</b>	<b>56,05</b>	<b>19,42</b>	<b>82,82</b>	<b>72,91</b>	--	<b>74,22</b>
<b>Mida de gra</b>	Mf a G	Mf a F	Mf a M	M a Mg	Mf a Mg	F a Mg
<b>Selecció</b>	Mp a M	B	B	M a B	P	P a B

Mp.: Molt pobrament seleccionat, P.: Pobrament seleccionat, M.: Moderadament seleccionat, B.: Ben seleccionat, Mb.: Molt ben seleccionat.

Mf.: Gra molt fi, F.: Gra fi, M.: Gra mitjà, G.: Gra granut, Mg.: Gra molt granut.

\* Calculat en mostres amb poca matriu (grain-supported).

La matriu pot tenir diversos orígens: pseudomatriu per deformació de fragments dúctils (1,0 %), sobretot fil·lites; matriu micrítica, que es troba puntualment als trams més marins de la sèrie (fins a un 26 %; Làmina III E) o també matriu lutítica (0,8 %), formada per quars, feldspat, argiles i miques (Làmina III F). La matriu siliciclàstica (pseudomatriu i matriu lutítica) sovint ha estat transformada a òpal i microquars amb quantitats variables de relictos de feldspats i argiles. Aquesta matriu és important a la unitat inferior (19,7 %), però disminueix a la resta d'unitats (1,4 %).

La porositat intergranular primària en la majoria de mostres és inferior a 2,5% (3,4%). La porositat secundària (1,9%) és intragranular i acostuma a ser lleugerament inferior a la primària, es forma principalment per dissolució dels feldspats més alterats (1,1%).

### **6.3. Mineralogia diagenètica**

La precipitació de mineralogies autigèniques ha estat un procés essencial en la litificació dels gresos de Montjuïc (Almera, 1880 i 1898; Llopis, 1942b; San Miguel i Masriera, 1970), en la qual, la cimentació silicatada i la transformació a òpal/microquars de la matriu original del sediment en són els principals processos. Aquests processos han modificat fortament la roca respecte al sediment original donant-li un aspecte dur i massiu. Per donar una idea de l'abast dels processos diagenètics esdevinguts als gresos de Montjuïc, el volum mitjà de components diagenètics és d'un 34,9 %.

En els gresos sense matriu (Làmina III F), l'autigènesi silicatada involucra una seqüència de cimentació, formada per sobrecreixements de feldspat, sobrecreixements syntaxials de quars i ciment intergranular de mesoquars i que pot arribar a ser quantitativament molt important a la roca (fins un 34,1 %). Aquests sobrecreixements tenen les vores cristal·lines i envolten completament els grans macrocristal·lins deixant molt poca porositat. Així, contactes entre grans aparentment concavexes o suturats en realitat són l'intersecció de diversos sobrecreixements. En aquells gresos amb la porositat més alta, la porositat residual pot ser reomplerta per mesoquars.

Als gresos amb matriu detrítica siliciclàstica (làmina III F), la presència d'aquesta fa que els sobrecreixements no es puguin desenvolupar completament. En aquestes roques, la matriu generalment ha estat transformada a òpal/microquars i conté quantitats variables d'argiles i feldspats potàssics relictos i d'hematites, alunita i òxids de titani.

*Quars - SiO<sub>2</sub>*

El quars forma sobrecreixements autigènics en els grans detrítics de quars i en els fragments de roca quarsítics. Si el quars detrític és macrocristal·lí, els sobrecreixements es donen en continuïtat òptica amb el gra i desenvolupen cares cristal·lines (Làmina VII A). Si el quars és microcristal·lí, els sobrecreixements formen una pel·lícula de petits cristalls amb morfologia fullada; si la mida de porus ho permet, aquests cristalls creixen amb morfologia drúsica cap al centre del porus (mesoquars) (Làmina IV A i Làmina VII B).

El màxim desenvolupament de sobrecreixements es dona en els gresos sense matriu (17,2 %), on presenten espessors de 20 a 160 µm. A les tres darreres barres de la Unitat del Castell aquest tipus de cimentació sobrepassa el 19% del total de la roca. Als gresos amb matriu, es troben en menor quantitat (2,2 %) i són d'espessors més petits, inferiors a 20 µm.

Si el gres té matriu detrítica, la presència d'aquesta tendeix a impedir la formació de sobrecreixements en els grans de feldspat i de quars. En aquests casos la matriu sol ser transformada a òpal/microquars (6,2%; Làmina IV B) i presenta clars relictos d'argiles i feldspats. La presència de matriu és la causant de que alguns sobrecreixements de quars mostrin una superfície irregular produïda per la interpenetració del sobrecreixement amb la matriu intergranular (Làmina IV C).

*Feldspat potàssic - K(Al Si<sub>3</sub>)O<sub>8</sub>*

El feldspat potàssic autigènic forma un o més sobrecreixements euèdrics que envolten total o parcialment els grans detrítics de feldspat potàssic (Làmina IV D). El límit entre el nucli detrític i el sobrecreixement està definit per una lleugera discontinuïtat òptica causada per diferències composicionals entre el gra i el ciment (Kastner & Siever, 1979). En els gresos sense matriu els sobrecreixements de feldspat potàssic tenen un espessor d'entre 10 i 150 µm i poden arribar a un 3,2 % del total de la roca. La presència de matriu dificulta la formació de sobrecreixements. Així, en els gresos amb matriu, els sobrecreixements mesuren entre 10 i 50 µm i són el 0,3 % de la roca (Làmina VII C). El feldspat autigènic pot també omplir la porositat intragranular de dissolució dels feldspats detrítics alterats. Puntualment s'ha trobat ciment intergranular microcristal·lí de feldspat potàssic (Làmina VII D). Químicament, el feldspat potàssic detrític conté quantitats variables de BaO i Na<sub>2</sub>O, mentre que el feldspat potàssic autigènic és químicament pur (Taula D).

**Taula D.** Anàlisis de microsonda dels feldspats potàssics: detrítics (FK d.), sobrecreixements (FK s.) i reomplint feldspats dissolts (FK r.).

	Nº Ana.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	MnO	FeO	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total	%Ort.	%Alb.
<b>FK d.</b>	38	65,20	18,67	0,00	0,04	0,02	0,05	0,39	1,55	13,88	99,81	89,71	10,03
<b>FK s.</b>	25	65,55	18,21	0,00	0,00	0,02	0,02	0,07	0,04	15,92	99,84	99,71	0,28
<b>FK r.</b>	10	65,26	18,29	0,01	0,00	0,01	0,07	0,10	0,05	15,85	99,63	99,66	0,33

### *Calcita - CaCO<sub>3</sub>*

La formació de calcita autigènica està associada a les parts més carbonàtiques de la sèrie miocena de Montjuïc. Els trams margosos o rics en fauna marina carbonàtica de les Unitats del Morrot, el Far, el Castell i de Miramar poden presentar cimentacions de calcita. La calcita esparítica generalment reomple la porositat mòldica (bivalves i gasteròpodes) i la porositat intergranular dels gresos (Làmina IV E). La porositat mòldica presenta dues generacions. La primera generació es disposa discontinuament a les parets de la porositat i mesura 400 µm d'espessor. La segona generació presenta cristalls euèdrics i subèdrics d'entre 50 µm a 2 mm. Localment, els ciments de calcita passen a calcita neomòrfica. A la porositat intergranular la calcita forma cristalls subèdrics a anèdrics, variant entre 21 i 90 µm.

### *Òxids de ferro i titani - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i TiO<sub>2</sub>*

La variació en l'abundància dels òxids de ferro (en total 3,8%) és la responsable de la distribució en bandats irregulars de les coloracions dels gresos de Montjuïc (marmorització). El color de la roca pot variar des del blanc passant per totes les gammes de vermell, marró i violeta. Els òxids de ferro apareixen en esferulites (10 a 50 µm; Làmina VII E) envoltant els feldspats potàssics, dins els fragments de roca metamòrfics o distribuïts entre la matriu de la roca (Làmina IV F). Segons els resultats dels anàlisis de microsonda, els òxids de ferro són de mineralogia hematítica (Taula E).

Els òxids de titani es troben en forma de petits cristalls aïllats entre la matriu transformada o en forma de relictos pseudomòrfics formats per la dissolució de miques (Làmina V A). Químicament, es detecten sempre acompanyats de sílice i d'òxids de ferro (Taula E).

**Taula E.** Anàlisis de microsonda electrònica mostrant la composició dels òxids de Fe i Ti autigènics.

	Nº Ana.	Fe	Ca	Na	Mg	Al	Si	O	Total		
Fe ox. (w%)	3	50,09	0,24	0,07	0,06	1,69	7,79	32,31	92,25		
	Nº Ana.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Total
Ti ox.	12	56,42	10,42	0,46	0,32	3,74	16,45	0,95	0,43	0,61	89,91

### *Alunita - KAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>*

L'alunita és escassa i apareix, acompanyada d'òxids de ferro i d'òpal, en forma de disseminacions dins els gresos, concentrada dins els motlles de biotita dissolta o, puntualment, en forma de venes paral·leles a l'estratificació. Al camp té un aspecte terrós i és de color blanc. Al

microscòpi petrogràfic presenta hàbit fibrós i té color marró a nicks paral·lels (Làmina VI D). Els colors de polarització són emmascarats pel seu color propi. Vista a microscòpi electrònic s'observa en forma de diminuts cubs euèdrics (Làmina VII F) de 1 a 5 µm i normalment associats a òpal i microquars. Els anàlisis de microsonda mostren petites quantitats de P en tots els cristalls d'alunita (Taula F).

**Taula F.** Anàlisis de microsonda electrònica mostrant la composició de l'alunita. La sílice es deu a la presència d'òpal, el total no arriba a 100 perquè hi ha H<sub>2</sub>O a la fórmula estructural de l'alunita i de l'òpal.

	NºAna.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SrO	BaO	F	Total
<b>Alunita</b>	6	20,46	29,06	0,38	0,12	0,14	7,38	0,72	28,53	0,11	0,08	0,20	87,17

#### 6.4. Mineralogia en fractures

Els materials miocens de Montjuïc (sobretot els gresos i els conglomerats) estan afectats per nombroses falles i diàclasis. A les roques no silicificades les diàclasis són escasses i solen estar reomplertes per calcita i guix. Les fractures afecten principalment a les roques silicificades i presenten un reompliment format per una seqüència de diferents ciments que des de la paret de la fractura cap al centre són:

##### *Franja de microquars i baritina*

Adossada a la paret de la fractura apareix una franja amb microquars i baritina (5 - 10 µm). De vegades el ciment de microquars està disposat en una xarxa ortogonal de petits prismes (Làmina V B). En alguns punts apareixen grans de feldspat i quars amb la vora serrada.

##### *Franja de cristalls de baritina i òxids de ferro*

Tot seguit, apareixen cristalls prismàtics euèdrics de baritina (50 µm a 2 mm) disposats perpendicularment a la paret de la fractura (Làmina V C). Entre els cristalls de baritina hi pot haver microquars i també una banda opaca d'òxids de ferro que envolten els cristalls de baritina.

##### *Franja d'òpal, microquars i calcedònia.*

Aquesta franja és isòpaca i es desenvolupa seqüencialment començant per botrioides irregulars d'òpal marró, seguint amb esferulites de calcedònia amb doble elongació (en taulell d'escacs) i finalment esferulites de calcedonita (lengh-fast chalcedony) (Làmina V D). La baritina de la franja anterior pot ser reemplaçada per calcedònia (Làmina V C).

A la porositat residual de la roca adossada a la fractura apareixen ciments de baritina en prismes euèdrics i d'òpal (Làmina V E) que en alguns punts recristal·litza a calcedònia (Làmina IV

D i Làmina VIII A) i microquars. Si els grans del gres estan sobrecreixuts, els sobrecreixements tenen la vora irregular degut al seu creixement en un espai intergranular ocupat.

Algunes diàclasis tenen bretxes de reompliment formades per clasts silicificats molt angulars derivats de les roques adjacents, i cimentades per sílice. En primer lloc precipiten esferulites d'òpal bru, mentre que la porositat restant és reblerta per esferulites de calcedonita zeburada i per mesoquars (Làmina V F).

Mineralògicament, els cristalls de baritina tenen quantitats significants de SrO. Les esferulites d'òpal tenen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO i  $\text{K}_2\text{O}$ , mentre que la calcedònia en escaquer presenta molt petites quantitats d'aquests elements i la quarsina és gairebé sílice pura (Taula G).

**Taula G.** Anàlisi de microsonda electrònica mostrant la composició dels ciments de les diàclasis (L'òpal no tanca perquè té aigua a la seva fórmula estructural).

	NºAna.	SO <sub>3</sub>	CaO	FeO	SrO	BaO	Na <sub>2</sub> O	Total		
Baritina	19	33,51	0,01	0,02	0,84	65,46	0,12	99,97		
	NºAna.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	FeO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total
Òpal	6	92,3	0,7	0	0,01	0,13	0	0,03	0,19	93,36
Calced. esc.	4	99,71	0,04	0,01	0	0	0,02	0,02	0,02	99,84
Quarsina	2	99,37	0	0	0,01	0	0,01	0	0,01	99,41

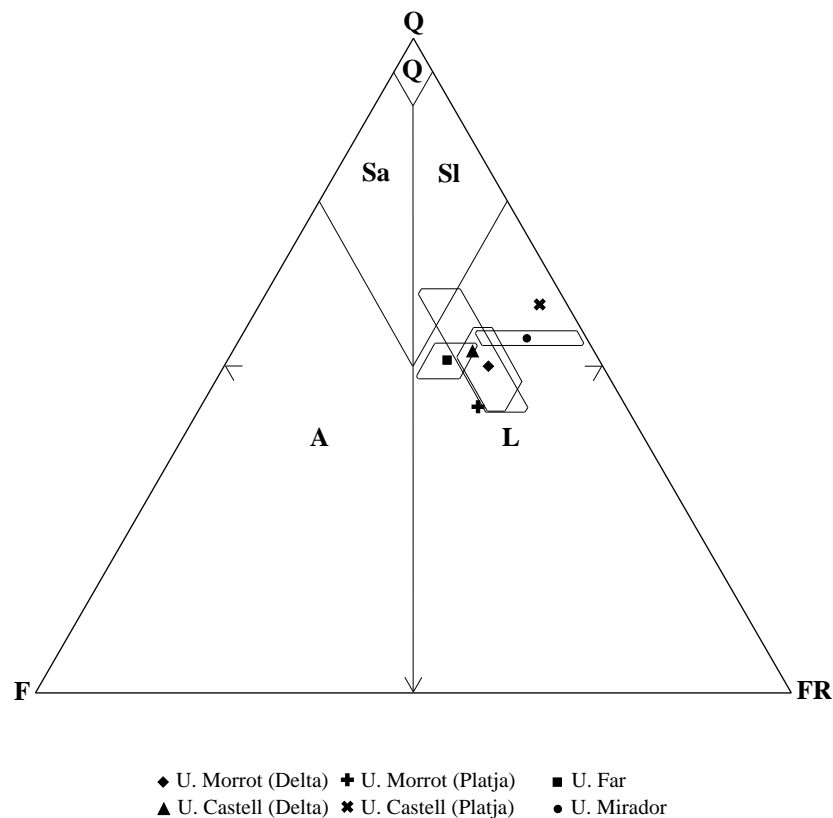
## 6.5. Caracterització petrològica i composicional de les diferents unitats

L'ambient de sedimentació en què es diposita un gres té una marcada incidència en les característiques texturals i composicionals d'aquest. Segons aquest criteri cada paquet de gresos dels diferents ambients sedimentaris que s'han distingit al Miocè de Montjuïc tindrà unes característiques petrològiques i una composició modal pròpies.

Per classificar els gresos (fig. 9), s'ha utilitzat el diagrama **QFFR** de composició modal per a gresos de Dott (1964). Aquest diagrama classifica els gresos en funció del contingut relatiu en grans de quars i chert (**Q**), feldspat (**F**) i fragments de roca (**FR**). El contingut d'aquests elements es calcula segons el mètode tradicional de comptatge en el qual tots els fragments de roca són comptabilitzats, encara que la mida dels seus constituents sigui superior a 0,062 mm. Aquest fet fa que aquesta classificació variï segons la granulometria de la roca, ja que els fragments de roca plutònica es concentren a les granulometries granudes, mentre que a les granulometries fines aquests grans es disgreguen en els seus constituents bàsics.



Per eliminar l'efecte de la granulometria sobre la composició modal del gres cal utilitzar el mètode de comptatge de Gazzi-Dickinson (1966-1970), segons el qual només es classifiquen com a fragments de roca aquells grans amb els constituents més petits de 0,062 mm (Taula C). Aquest mètode és especialment indicat per a l'anàlisi de la procedència dels components detrítics d'un gres. A la següent descripció s'expressaran els percentatges segons aquest mètode per donar idea de la composició dels gresos independentment de la granulometria.



**fig. 9.** Projectió dels gresos de Montjuïc en el diagrama triangular per a la classificació de gresos de Dott (1964).

#### *Unitat del Morrot*

La part inferior d'aquesta unitat, formada en una plana deltaica, es caracteritza pel domini dels gresos amb una granulometria variable, un elevat contingut amb matriu (20,7 %), pobrament seleccionats i texturalment immadurs.

Composicionalment, segons el mètode de comptatge de Gazzi-Dickinson (1966-1970) aquests gresos presenten un 33,0 % de quars, un 10,1 % de feldspat potàssic i un 10,2 % de fragments de roca fins. Es poden classificar com a litarenites o grauvaques lítiques (fig. 9) si el seu contingut en matriu supera el 15 % segons la classificació de Dott (1964).

La plagiòclasi hi és absent i en haver-hi una granulometria variable no hi ha diferències notables en la proporció de fragments de roca metamòrfics i plutònics. No hi ha biotita i la moscovita és escassa. També hi ha intraclasts de gresos silicificats ja que en ser un ambient de plana deltaica els estrats infrajacents poden ser fàcilment erosionats (Làmina VI A). Tanmateix aquests intraclasts es concentren a les capes conglomeràtiques, on hi ha més potencial d'erosió. Pel que fa als components diagenètics, la Unitat del Morrot està intensament silicificada. Degut a que hi ha molta matriu aquesta ha estat transformada a òpal i microquars. En menor quantitat també hi ha òxids de ferro.

La part superior de la Unitat del Morrot, interpretada com un ambient de platja, presenta granulometries fines, bona selecció i un baix contingut en matriu. Aquests gresos tenen un 31,5 % de quars, un 12,5 % de feldspat potàssic i un 24,1 % de fragments de roca fins i es poden classificar com a litarenites (fig. 9) segons Dott (1964). A diferència de la part inferior de la Unitat del Morrot, aquesta part superior té un enriquiment en fragments metamòrfics degut a la disminució en la granulometria general de la roca. Això fa que hi hagi un augment en la quantitat de pseudomatriu ja que la gran part d'aquests fragments són deformables. Aquests gresos poden tenir bioclasts i ciments de calcita o poden estar silicificats.

#### *Unitat del Far*

Els gresos d'aquesta unitat sedimentada en ambients de platja estan ben seleccionats i són de granulometries fines. La composició és d'un 22,6 % en quars, un 8,3 % en feldspat potàssic i un 11,9 % en lítics fins. Segons el diagrama de Dott (1964) són litarenites (fig. 9).

De la mateixa manera que la part superior de la Unitat del Morrot, en aquesta unitat hi ha un enriquiment en fragments de roca metamòrfics degut a la predominància de granulometries fines. Hi ha grans de biotita que eren absents a l'unitat anterior i també hi apareixen bioclasts i intraclasts micrítics. Els components diagenètics són sobretot ciments carbonàtics i minoritàriament petits cristalls de pirita oxidats (Làmina VI B).

#### *Unitat del Castell*

És una unitat dipositada essencialment en un front deltaic, per tant la selecció, al igual que a la unitat del Far és bona i hi ha molt poca matriu (Làmina VI C). La granulometria és més elevada que a la Unitat del Far, entre mitja i grollera i la maduresa textural és bona.

Els percentatges dels components detrítics són d'un 41,4 % en quars, 9,4 % en feldspat potàssic, 2,7 % en plagiòclasi i 7,3 % en lítics fins. Es poden classificar com a litarenites o sublitarenites (fig. 9) segons Dott (1964). Com que són gresos de mida mitja a grollera ben seleccionats hi ha un fort augment dels fragments de roca plutònics respecte als fragments de roca metamòrfics. A més a més, la quasi total absència de matriu ha facilitat una forta cimentació per sílice. També presenta nombroses fractures ben cimentades per baritina i sílice. Hi ha un altre aspecte a remarcar: és en aquesta unitat on apareix per primer cop la plagiòclasi.

Els darrers metres d'aquesta unitat estan formats per gresos mal seleccionats amb molta matriu micrítica. Aquests gresos tenen un 32,6 % de quars, un 2,2 % de feldspat potàssic, un 1,0 % de plagiòclasi i un 6,8 % de lítics fins. Són també litarenites però molt empobrides en feldspats. Tenen bioclasts i intraclasts micrítics. La cimentació és carbonàtica.

#### *Unitat del Mirador*

És una unitat amb selecció i granulometries variables. Són litarenites (fig. 9; Dott, 1964) amb un 32,9 % de quars, un 5,2 % de feldspat potàssic, un 0,1 % de plagiòclasi i un 9,1 % de lítics fins. Respecte als components detrítics, igual que passa a la part superior de la Unitat del Castell, hi ha una forta disminució en feldspats mentre que el quars i els fragments de roca es mantenen amb valors similars als de les altres unitats; a més en aquesta unitat hi ha bioclasts. En quant als components diagenètics, en alguns punts presenta cimentacions carbonàtiques. D'altra banda, també pot estar intensament silicificada.



## 7. PROCEDÈNCIA DELS COMPONENTS DETRÍTICS

---

### 7.1. Introducció

L'estudi de la procedència consisteix en l'anàlisi dels components extraconcal detrítics del gres i de les seves variacions al llarg de la sèrie, amb l'objectiu de caracteritzar el tipus d'àrea font i la seva evolució al llarg del temps. Tot i que l'ambient tectònic i la litologia de l'àrea font exerceixen un fort control sobre la composició dels gresos, el clima, el transport i l'ambient deposicional són factors que també influeixen la composició original dels gresos. A més, els processos diagenètics poden modificar fortament la composició detrítica original.

Per realitzar un anàlisi de procedència cal quantificar acuradament els components detrítics. Tanmateix sovint no es tenen en compte els canvis diagenètics en la composició de l'esquelet (McBride, 1985 i De Ros *et al.*, 1994). Per reconstruir les composicions detrítiques originals i per quantificar les interaccions entre l'esquelet i els processos diagenètics, s'han quantificat separatament els minerals diagenètics que reemplacen grans de l'esquelet. La utilització de diferents diagrames de projecció triangular ajuda a visualitzar les característiques composicionals dels gresos i l'evolució d'aquestes al llarg de la sèrie.

### 7.2. Litologia original dels components detrítics

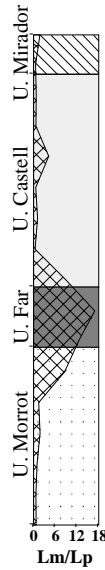
L'esquelet dels gresos de Montjuïc és compost per diversos components d'origen detrític extraconcal, que deriven de les diferents litologies presents a l'àrea font. En aquest apartat no s'ha analitzat la Unitat de Miramar degut a que la fracció arenosa és ínfimament representada.

Els grans de quars (mineral molt resistent a l'acció dels agents meteòrics), són sempre molt abundants. La majoria de grans de quars són monocristal·lins. Els grans policristal·lins també són

importants i s'hi distingeixen els granuts (cristalls  $> 0,062$  mm), els fins (cristalls entre  $0,062$  mm i  $0,02$  mm), els formats en venes de segregació i els grans de quars microcristal·lí o chert (cristalls  $< 0,02$  mm). El quars monocristal·lí té extinció recta, és d'origen plutònic i pot provenir de l'erosió de granitoides o de pòrfirs granítics (de vegades els grans de quars monocristal·lí presenten hàbit ameboidal). El quars policristal·lí granut pot ser d'origen plutònic si els cristalls tenen extinció recta o d'origen metamòrfic quan els cristalls tenen extinció ondulant i als contactes entre cristalls es desenvolupen subgrans de quars. El quars policristal·lí fi constituït format per l'erosió de quarsites metamòrfiques i el chert pot provenir de quarsites criptocristal·lines i de lidites.

Els grans de feldspat són majoritàriament de composició potàssica, la plagiòclasi apareix només a la Unitat del Castell i del Mirador, però sempre és menys abundant que el feldspat potàssic. El feldspat és d'origen plutònic, prové de granitoides i pòrfirs granítics, encara que la plagiòclasi també pot venir de l'erosió de fenocristalls de roques metavolcàniques.

Els fragments de roca donen una informació directa sobre la litologia de l'àrea font. En el cas dels gresos de Montjuïc els fragments de roca són essencialment plutònics i metamòrfics. A la majoria de gresos hi dominen els fragments de roca plutònics excepte a les granulometries fines, on s'acumulen els fragments de roca metamòrfics (fig. 8 i 10). Els fragments plutònics són de granitoides amb textures granudes hipidiomorfes, d'aplites i pegmatites (textures gràfiques de quars i feldspat potàssic) i de pòrfirs granítics amb textures porfíriques i fenocristalls de quars o feldspat. Els fragments metamòrfics són sobretot de baix grau (fil·lites), els quals poden ser pobres o rics en quars (fil·lites micàcies i fil·lites silícies, respectivament). Hi ha alguns fragments esquistosos i, molt puntualment, s'han trobat fragments metavolcànics.



**fig. 10.** Gràfic mostrant la variació en la relació Fragments de roca metamòrfics (**Lm**) / Fragments de roca plutònics (**Lp**) al llarg de la sèrie de Montjuïc.

En quant als components detrítics accessoris extraconcal, aquests són moscovita, biotita, clorita, zircó i turmalina. Aquests components deriven, majoritàriament, de roques ígnies plutòniques. Concretament, la biotita i la moscovita dels granitoides, aplites i pegmatites; la clorita, de l'alteració d'aquestes mateixes miques a l'àrea font; el zircó pot venir de l'erosió dels granitoides i la turmalina de les pegmatites. Tots aquests minerals són abundants a les roques metamòrfiques, però difícilment subministraran grans de mida sorra i es trobaran als sediments de granulometria més fina. Els minerals argilosos de la matriu siliciclàstica original provenen de la desagregació de les roques de l'àrea font, sobretot de les fil·lites micàcies i de les roques plutòniques alterades. La resta de components de la matriu siliciclàstica (quars i feldspats) poden provenir de la desagregació de roques plutòniques o metamòrfiques.

A partir de l'anàlisi dels diferents components detrítics es dedueix que l'esquelet dels gresos de Montjuïc està exclusivament format per fragments no carbonàtics derivats de materials paleozoics. Els fragments de roca carbonàtics extraconcal són totalment absents. D'aquests fets es dedueix que l'àrea font d'aquests sediments fou el Massís de Collserola, on afloren materials paleozoics metamorfitzats i roques plutòniques tardihercinianes, mentre que el Mesozoic no hi és present. L'absència de fragments carbonàtics derivats del Devonià delimita l'àrea font a la zona de Tibidabo - Vallvidrera, que és on apareixen totes les litologies presents als gresos de Montjuïc (fig. 3; Làmina II C).

### 7.3. Anàlisi modal dels components detrítics

Per analitzar les evolucions i tendències en la procedència al llarg de la sèrie s'han utilitzat diagrames de projecció triangular. Alguns d'ells s'han utilitzat clàssicament per caracteritzar composicionalment els gresos, mentre que d'altres s'han utilitzat per a la interpretació genètica d'aquests, relacionant àrees composicionals amb un determinat ambient geotectònic.

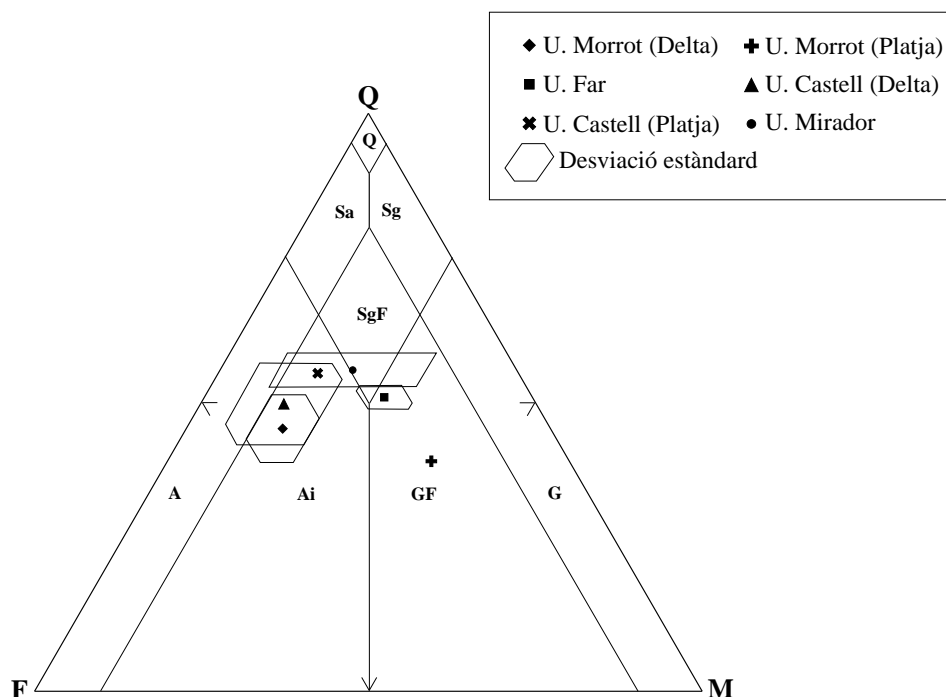
Independentment de la utilització clàssica de cada diagrama, s'han projectat les dades agrupant-les segons els diferents ambients deposicionals de la sèrie miocena de Montjuïc. Per a la projecció s'ha calculat la mitjana de les dades de cada grup i la desviació estàndard. La mitjana és representada amb un símbol per a cada grup encerclat per un poliedre que representa l'àrea de desviació de les dades. Els diagrames composicionals utilitzats han estat el **QFM** (Folk, 1965), **QFFR** (Pettijohn *et al.*, 1973), **QmFLt** (Dickinson *et al.*, 1983), **QtFL** (Dickinson *et al.*, 1983), **QtKP** (Dickinson *et al.*, 1983). Els dos primers diagrames utilitzen el mètode de comptatge tradicional mentre que la resta utilitzen el mètode de Gazzi-Dickinson (1966-1970), el qual intenta eliminar l'efecte de la granulometria en la composició modal dels gresos, comptant com a fragments de roca exclusivament aquells grans amb components més petits de 0,062 mm.

#### *Diagrama composicional QFM (Folk, 1965)*

Aquest diagrama queda representat a la fig. 11 i s'hi distingeixen les següents categories:

- Constituents Q: Tots els tipus de grans de quars més el chert, excepte les metaquarsites.
- Constituents F: Grans simples de tots els tipus de feldspat i fragments de roca ignis, tant plutònics com volcànics.
- Constituents M: Fragments de roca metamòrfics incloent-hi les metaquarsites i les miques més grans de 0.03 mm.





**fig. 11.** *Projecció dels gresos de Montjuïc al diagrama QFM (Folk, 1965). Q: Ortoquarsita. Sg: Subgrauvaca. G: Grauvaca. SgF: Subgrauvaca feldspàtica. GF: Grauvaca feldspàtica. Sa: Subarcosa. A: Arcosa. Ai: Arcosa impura.*

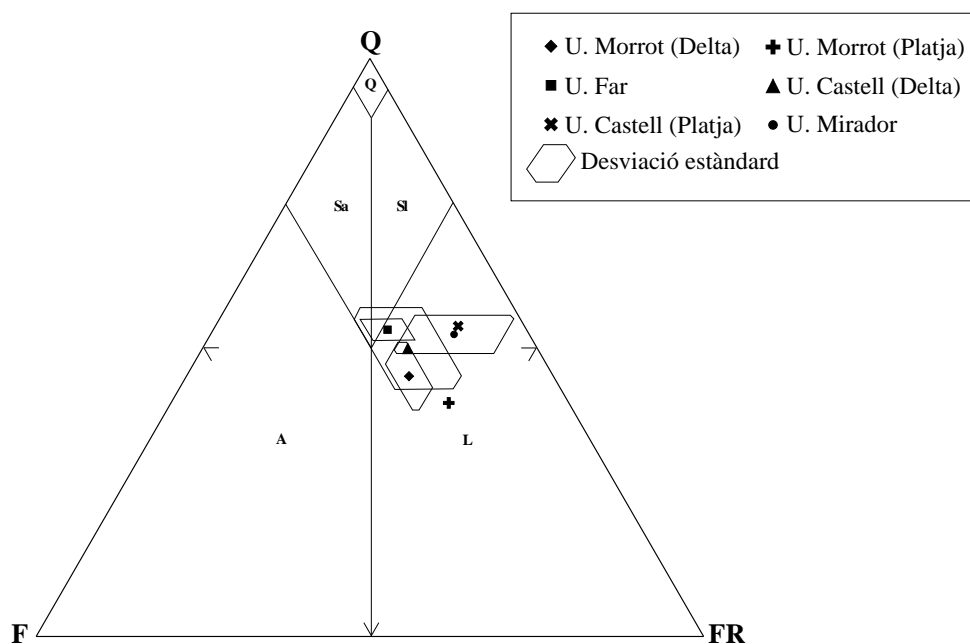
Aquest diagrama s'utilitza per la caracterització composicional dels gresos. Segons el contingut relatiu dels tres constituents d'un gres s'estableixen vuit camps: ortoquarsita (Q), subgrauvaca (Sg), grauvaca (G), subarcosa (Sa), arcosa (A), subgrauvaca feldspàtica (SgF), grauvaca feldspàtica (GF) i arcosa impura (Ai). Segons Folk (1965) les arcoses corresponen a àrees font ígnies, les grauvaques a àrees font metamòrfiques i les ortoquarsites a àrees font sedimentàries.

Sense prendre la interpretació original del diagrama com una panacea i coneixent prèviament les litologies principals de l'àrea font (metamòrfiques i plutòniques), a la projecció en aquest diagrama s'observa que les mostres amb granulometries fines es projecten al camp de les grauvaques a causa d'un enriquiment en M per acumulació de fragments metamòrfics (Unitat del Far i part superior de la Unitat del Morrot), mentre que les unitats amb predominància de granulometries mitges i granudes es projecten al camp de les arcoses degut a l'augment en el contingut relatiu de fragments plutònics (Unitat del Morrot, Unitat del Castell i Unitat del Mirador). Aquesta variació composicional és doncs causada per l'ambient de sedimentació i no té cap implicació en l'anàlisi de procedència. D'altra banda també s'observa un augment en la maduresa composicional de les mostres (enriquiment en quars) cap al sostre de la sèrie de Montjuïc.

### Diagrama composicional QFFR (Pettijohn et al., 1973)

La representació d'aquest diagrama es pot veure a la fig. 12. Es poden distingir les següents categories:

- Constituents Q: Tots els tipus de grans de quars més el chert.
- Constituents F: Grans simples de tots els tipus de feldspat.
- Constituents FR: Fragments de roca de tot tipus.



**fig. 12.** Projecció dels gresos de Montjuïc al diagrama QFFR (Pettijohn et al., 1973). Q: Quarsarenita. Sl: Sublitarenita. L: Litarenita. Sa: Subarcosa. A: Arcosa.

Aquest diagrama s'utilitza per la caracterització composicional dels gresos. De fet és molt similar al que s'ha utilitzat per a la classificació dels gresos de Montjuïc (fig. 9), excepte que en el diagrama QFFR de Pettijohn *et al.* (1973) s'han tingut en compte els grans detrítics reemplaçats per minerals diagenètics. Segons el contingut relatiu dels tres constituents s'estableixen cinc camps: quarsarenita (Q), arcosa (A), litarenita (L), subarcosa (Sa) i sublitarenita (Sl).

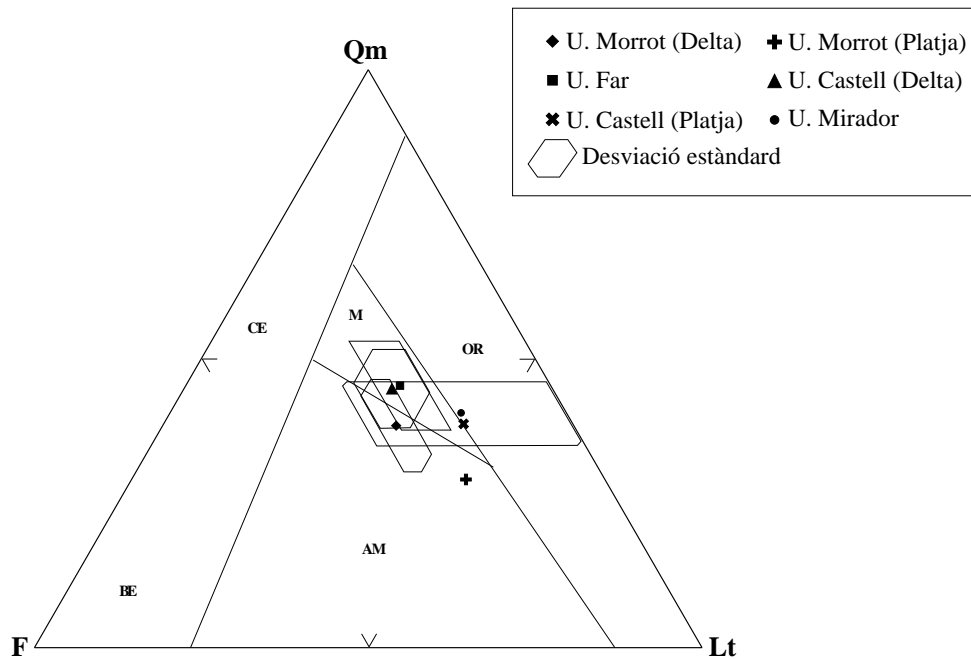
La utilitat d'aquest diagrama per a l'anàlisi de la procedència, en el cas dels gresos de Montjuïc, és petita. Totes les categories queden representades en àrees similars corresponents, gairebé en la seva totalitat, al camp de les litarenites. La projecció de les diferents categories evidencia una disminució en feldspats de la part superior de la Unitat del Castell i de la Unitat del Mirador. Degut a que en aquest diagrama no es distingeixen els fragments de roca plutònics dels

metamòrfics, la individualització de les unitats amb granulometries més fines (amb més fragments metamòrfics) de les més granudes no queda marcada.

*Diagrama composicional QmFLt (Dickinson et al., 1983)*

Aquest diagrama queda representat a la fig. 13 i s'hi distingeixen les següents categories:

- Constituents Qm: Grans de quars monocristal·lí i quars en fragments de roca.
- Constituents F: Grans simples de feldspat potàssic i plagiòclasi i feldspats en fragments de roca.
- Constituents Lt: Fragments de roca fins (constituents < 0,062 mm) i grans de quars policristal·lí.



**fig. 13.** Projectió dels gresos de Montjuïc al diagrama QmFLt (Dickinson et al., 1983). CE: Cratons estables. BE: Basaments elevats. OR: Orògens reciclats. AM: Arcs magmàtics. M: Mescles.

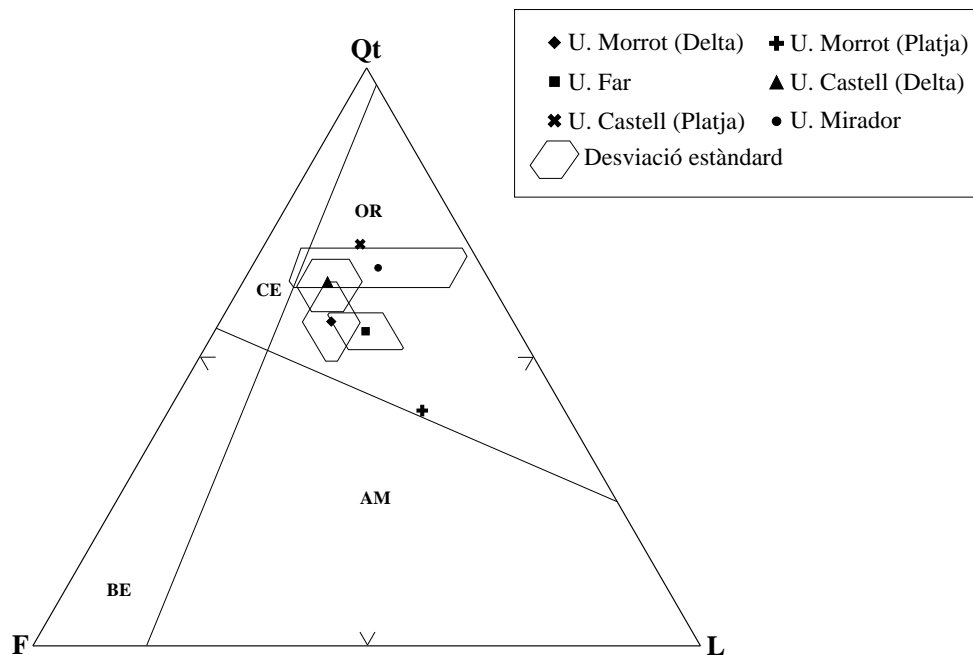
En aquest diagrama s'analitza directament la procedència del gres projectat. Els autors defineixen cinc àrees de diferent procedència segons l'ambient geotectònic: blocs continentals (separats en cratons estables (CE) i basaments elevats (BE)), orògens reciclats (OR), arcs magmàtics (AM) i una àrea de mescla (M) de tots aquests camps. La definició d'aquestes àrees és útil per a gresos d'àrea font desconeguda. Tot i així, la definició d'aquestes àrees de procedència no deixa de ser qualitativa. En aquest treball s'utilitza aquest diagrama ternari única i exclusivament com a mètode de discriminació entre les diferents unitats.

Respecte als diagrames anteriors, es continua notant l'empobriment en feldspats potàssics de la part superior de la sèrie de Montjuïc, però l'enriquiment en quars d'aquest tram de la sèrie queda amagat pel fet que el quars policristal·lí és representat al vèrtex Lt.

*Diagrama composicional QtFL (Dickinson et al., 1983)*

Aquest diagrama, que queda representat a la fig. 14, discrimina les següents categories composicionals:

- Constituents Qt: Grans de quars monocristal·lí i policristal·lí i quars en fragments de roca.
- Constituents F: Grans simples de feldspat potàssic i plagiòclasi i feldspats en fragments de roca.
- Constituents L: Únicament fragments de roca fins (constituents < 0,062 mm).



**fig. 14.** Projecció dels gresos de Montjuïc al diagrama QtFL (Dickinson et al., 1983). CE: Cratons estables. BE: Basaments elevats. OR: Orògens reciclats. AM: Arcs magmàtics.

En aquest diagrama, igual que a l'anterior, s'analitza directament la procedència dels gresos. Es defineixen quatre àrees de diferent procedència segons l'ambient geotectònic (són les mateixes que en el diagrama anterior, excepte l'àrea de mescla, que no apareix en aquest diagrama).

Aquests encavalcaments exposaren roques metamòrfiques, que subministraren fragments de roca fins, i roques plutòniques, que produïren sediment quars-feldspàtic. A banda de la interpretació clàssica, en aquest diagrama queden ben individualitzades les diferents projeccions i es pot observar molt bé l'augment en quars i la disminució en feldspats de la part superior de la sèrie de Montjuïc. Tal i com passa sempre, la Unitat del Far i la part superior de la Unitat del Morrot estan enriquides en L degut a que presenten granulometries fines on s'acumulen els fragments de roca metamòrfics.

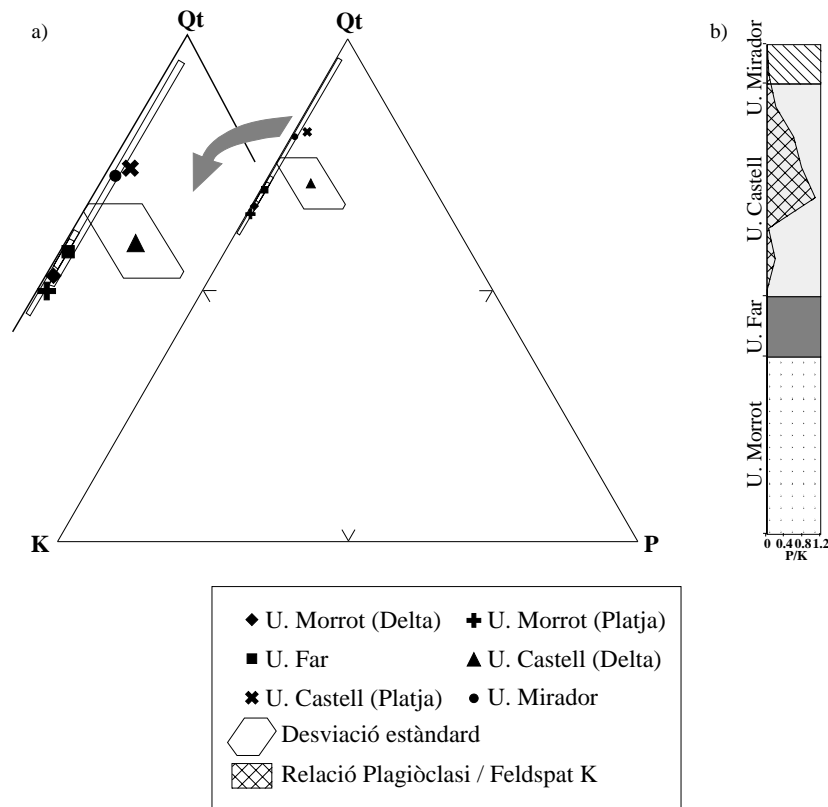
*Diagrama composicional QtKP (Dickinson et al., 1983)*

Aquest diagrama queda representat a la fig. 15a i s'hi distingeixen les següents categories:

- Constituents Qt: Grans de quars monocristal·lí i policristal·lí i quars en fragments de roca.
- Constituents K: Grans simples i fragments de roca amb feldspat potàssic.
- Constituents P: Grans simples i fragments de roca amb plagiòclasi.

En aquest diagrama, igual que a l'anterior, s'analitza directament la procedència dels gresos. D'altra banda hi ha hagut autors que han utilitzat la relació P/K com un indicador paleoclimàtic (Basu, 1976).

Gairebé totes les dades de Montjuïc queden projectades a l'aresta Q - K ja que el contingut en plagiòclasi de la sèrie és molt baix. Només a la Unitat del Castell hi ha un augment important en el contingut en plagiòclasi (fig. 15b). Segons Basu (1976), el baix contingut en plagiòclasi i l'alt grau d'alteració que presenta són indicadors d'un clima humit a l'àrea font, sota el qual es desenvoluparia un perfil de meteorització.



**fig. 15.** (a) Projectió dels gresos de Montjuïc al diagrama QtKP (Dickinson et al., 1983). (b) Gràfic mostrant la variació en la relació Plagiòclasi (P) / Feldspat potàssic (K) al llarg de la sèrie de Montjuïc.

#### 7.4. Interpretació de les dades

A partir de les diferents projeccions triangulars s'han pogut observar les principals característiques i variacions en la moda composicional al llarg de la sèrie de Montjuïc. Les principals observacions han estat:

1. Acumulació de fragments de roca metamòrfics a la part superior de la Unitat del Morrot i a la Unitat del Far.
2. Augment en la quantitat de quars a la part superior de la Unitat del Castell i a la Unitat del Mirador.
3. Baixa relació P/K i alt grau d'alteració de la plagiòclasi i d'alguns feldspats potàssics
4. Disminució en la quantitat de feldspat cap a la part superior de la sèrie.

5. Aparició de plagiòclasi a la Unitat del Castell i en menor quantitat a la Unitat del Mirador.

L'acumulació dels fragments metamòrfics a la part superior de la Unitat del Morrot i a la Unitat del Far és, tal i com ja s'ha dit, un efecte de la predominància de granulometries fines en aquestes unitats. L'augment en la maduresa composicional del sediment (degut a la disminució dels feldspats i a l'augment del quars) cap a la part superior de la sèrie pot tenir relació amb l'ambient deposicional. Les mostres que pateixen aquest augment són aquelles relacionades amb la sedimentació en barres de desembocadura deltaïques, on el sediment ha pogut ser retreballat repetides vegades.

Les característiques que semblen determinades per l'àrea font són la baixa relació P/K i l'aparició de plagiòclasi a les Unitats del Castell i del Mirador. La relació P/K ve determinada pel clima de l'àrea font (Basu, 1976). Quan el valor de la relació és petit, com és el cas de Montjuïc, indica que el clima de l'àrea font era humit. Aquesta afirmació és recolzada pels estudis de la flora fòssil de la muntanya realitzats per Vicente (1988) i Sanz de Siria (1994), els quals assignen un clima subtropical a aquesta zona durant la sedimentació del delta de Montjuïc. Sota aquest clima les plagiòclasi i els feldspats potàssics, en menor grau, s'alterarien, fet que donaria lloc al desenvolupament d'un perfil de meteorització. L'aparició de plagiòclasi cap a la part superior de la sèrie implicaria que aquest perfil va ser erosionat durant la sedimentació d'aquestes unitats, aflorant progressivament roca menys meteoritzada; cal tenir en compte que la plagiòclasi és un mineral molt poc resistent als agents meteòrics i que s'hidrolitza amb facilitat (Goldich, 1938 i Millot, 1964).

Si el feldspat potàssic arriba fresc o ja està alterat a l'àrea font és un interrogant respecte a la procedència dels components detrítics que no queda reflectit a les projeccions triangulars. El fet que el grau d'alteració dels feldspats potàssics sigui variable, l'escassetat de plagiòclasi i la presència de ciment intragranular feldspàtic fa pensar que els feldspats s'alteren, parcial o totalment, a l'àrea font. La presència d'il·lita i caolinita en pseudomorfs de feldspats fa pensar però que aquesta alteració ha d'haver continuat en el sediment després de la seva deposició.

Durant el Burdigalià, els sediments procedents del horst de Collserola es nodreixen majoritàriament de material del Mesozoic (gresos i conglomerats de Rubí, Graben del Vallès - Penedès), mentre que, durant el Serraval·lià, es nodreixen exclusivament de material del Paleozoic

(gresos i conglomerats de Montjuïc). Aquest fet fa pensar que el desmantellament de la cobertora mesozoica del horst de Collserola es produí entre ambdós períodes.



## 8. PROCESSOS DIAGENÈTICS

---

### 8.1. Introducció

Durant la diagènesi és habitual el desenvolupament de minerals dins la roca o el sediment (autigènesi), fruit de la tendència d'aquest a restar en equilibri amb els fluids presents a l'ambient diagenètic on es troba. Els minerals autigènics es formen per precipitació a la porositat, o per transformació i recristal·lització de minerals preexistents. Aquests processos, juntament amb la dissolució i la compactació, afecten directament a la qualitat dels gresos com a roca magatzem (Marfil i De la Peña, 1992).

La naturalesa del sediment i dels fluids que percolen a través seu té una influència directa en els processos diagenètics i, per tant, en les mineralogies autigèniques desenvolupades en el sediment.

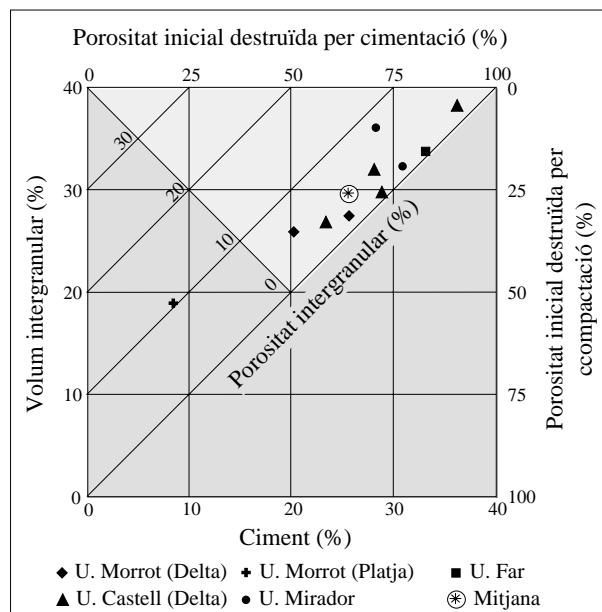
Pel que fa a la naturalesa dels fluids, la ubicació tectònica d'una àrea determinada condiciona els tipus de fluids que hi circularan, així com els mecanismes de circulació d'aquests fluids (Person i Garven, 1994). El mecanisme de transport de soluts influirà també en els processos diagenètics. Els soluts poden ser transportats per difusió o per advecció. En el primer cas, l'abast dels processos autigenètics és limitat a pocs centímetres o metres en el medi. En el segon cas, la distribució d'aquests podrà ser important, essent funció del flux a través de la porositat de la roca (Bjørlykke i Egeberg, 1993). El fet que la circulació d'un fluid afecti al sediment dependrà de que la mineralogia original d'aquest sediment sigui capaç de registrar-ne els efectes.

L'anàlisi de la diagènesi en un punt concret de la zona d'estudi pot no registrar tota la història diagenètica. És l'observació sistemàtica global dels processos diagenètics i de les relacions temporals entre ells la que permet realitzar una història diagenètica completa.

## 8.2. Enterrament i compactació dels gresos de Montjuïc

Tanmateix, la disposició estructural de la muntanya de Montjuïc fa pensar que el soterrament d'aquestes roques ha estat escàs. Texturalment, l'únic criteri de compactació mecànica que s'observa és la deformació dels fragments dúctils generant pseudomatriu i sense cap evidència de compactació química.

Del diagrama de Houseknecht (1987) es dedueix que la compactació dels gresos de Montjuïc està limitada per una forta cimentació primerenca. Aquest diagrama permet fer una estimació visual, en els gresos amb una selecció entre bona i moderada i sense matriu, de la relativa importància de la cimentació respecte la compactació (fig. 16). Assumint que la porositat inicial és del 40 %, l'observació del diagrama permet dir que als gresos de Montjuïc, la cimentació ha estat molt més important que la compactació, provocant una forta reducció de la porositat primària sense necessitat de reduir el volum intergranular.



**fig. 16.** Relació % ciment - % volum intergranular (segons Houseknecht, 1987) per a 10 mostres dels gresos de Montjuïc.

El volum intergranular de la majoria de mostres és preservat doncs per la forta cimentació (35,7 %). Sobre el diagrama s'observa com totes les mostres de la Unitat del Morrot tenen un

volum intergranular inferior al de la mitjana, mentre que gran part de les mostres restants superen el valor de la mitjana, essent llavors el volum intergranular superior al 30 % en la majoria de casos. L'explicació d'aquest fet radica en què la selecció dels gresos de la Unitat del Morrot (Delta) és la més pobre, reduint lleugerament el volum intergranular respecte a la resta de mostres (Taula C). En el cas dels dipòsits de la Unitat del Morrot (Platja) l'explicació radica en el fet que són gresos de granulometria fina, poc cimentats i amb molts fragments metamòrfics (taula C i fig. 10), on la formació de pseudomatriu per compactació és el mecanisme dominant.

Tot i així, totes les mostres projectades al diagrama cauen a l'àrea on la porositat destruïda per cimentació és superior a la porositat destruïda per compactació (tramut clar), excepte a la mostra dels gresos de platja de la part superior de la Unitat del Morrot. En aquesta mostra gran part de la porositat inicial ha estat destruïda per compactació, la causa d'aquesta anomalia és que en aquesta mostra hi ha una gran quantitat de fragments de roca metamòrfics, els quals tenen una gran ductilitat i es deformen fàcilment (5,0 % de pseudomatriu) reduint ràpidament el volum intergranular (18,5 %).

### 8.3. Autigènesi en els gresos de Montjuïc

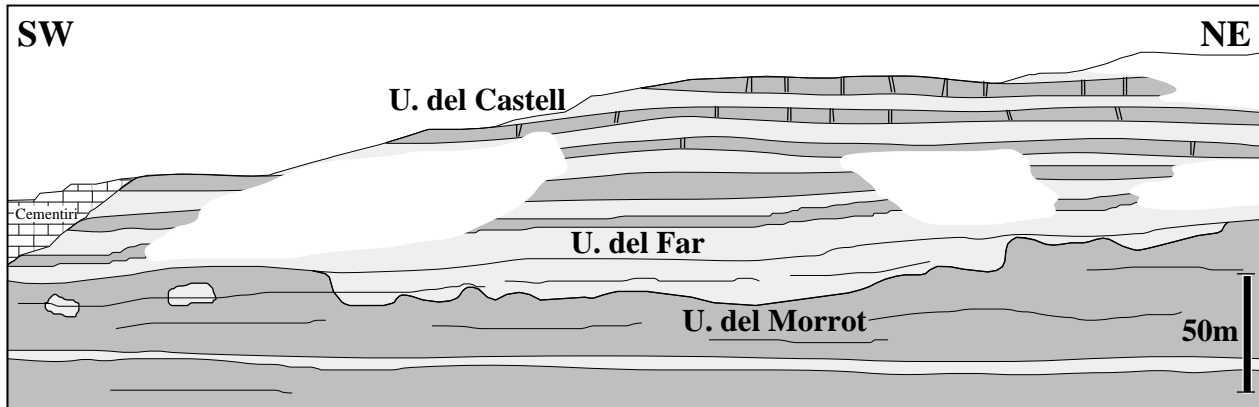
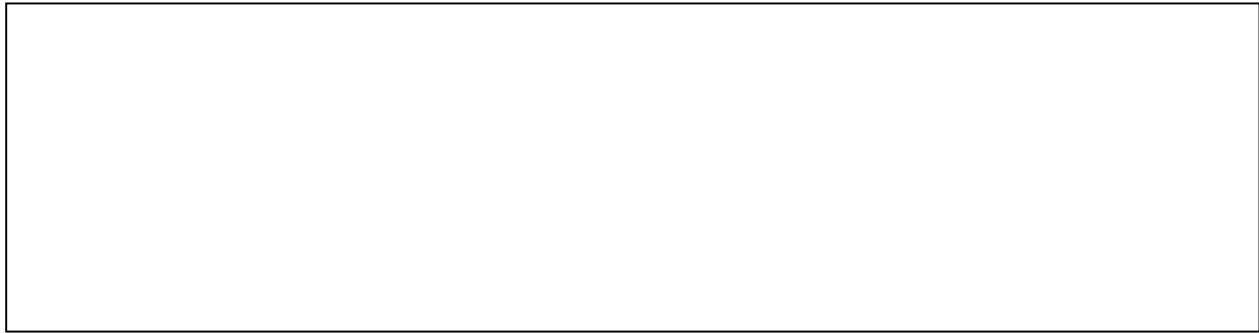
La litificació dels gresos de Montjuïc és sobretot deguda a l'autigènesi de minerals del grup de la sílice (Faura i Sans, 1917; San Miguel i Masriera, 1970). Aquesta diagènesi silícica ha modificat fortament la composició dels dipòsits originals. Les alteracions poden ser també importants i afecten sobretot als feldspats, als fragments fil·lítics i a la matriu argilosa.

L'autigènesi de sílice en roques sedimentàries ha estat àmpliament documentada arreu del món: Austràlia (Thiry, M. i Milnes, A.R., 1991; Rayot, V., 1994), Texas (Murray, 1990), Kuwait (Khalaf, F.I., 1988), Àfrica del Sud (Summerfield, M.A., 1983; Smykatz-Kloss, W. i Joachim H., 1990), Mar del Nord (Haszeldine, R.S. *et al.*, 1984; Hendry, J.P. i Trewin, N.H., 1995), conques d'avantpaís a l'Atlas marroquí (Thiry, M. i Ben Brahim, M., 1997), Vaucluse (França; Roulin, F. *et al.*, 1986), Conca de Paris (Thiry, M. i Millot, G., 1987), Portugal (Meyer, R. i Pena dos Reis R.B., 1985), Conca del Tajo (Bustillo, 1976) i Conca del Duero (Molina *et al.*, 1997). Totes aquestes cites són exemples significatius de silicificacions en roques sedimentàries.

El principal procés diagenètic que ha afectat als gresos de Montjuïc ha estat una intensa silicificació. Aquesta procés és primerenc, ja que, relacionat amb el límit superior de la primera

seqüència, apareixen abundants fragments intraformacionals silicificats. Només les formacions margoses no han estat afectades per la silicificació. Tanmateix, la silicificació no es concentra únicament a les litologies més grolleres. En particular, a la part inferior de la sèrie de la muntanya de Montjuïc, el contorn de la silicificació sovint és discordant respecte a l'estratificació. La repartició espacial dels nivells massius il·lustra clarament aquesta discordança (fig. 17). Les fàcies silicificades penetren i tallen les capes dels nivells de gresos fins amb bioclasts de la part superior de la Unitat del Morrot. Per contra, a la part superior de la sèrie, on els contrastos litològics són més marcats, les silicificacions apareixen associades als nivells grollers i els nivells més fins i margosos no en resulten afectats. En aquest cas, les silicificacions prenen morfologia estratiforme i són menys massives. Cal assenyalar també que és en aquests nivells silicificats de la part superior de la sèrie on s'observen la majoria de fractures silicificades.

L'observació detallada al microscopi petrogràfic de 124 làmines primes dels gresos de Montjuïc, ha permès identificar diferents microfàcies diagenètiques. Una microfàcies diagenètica és un conjunt de roques clàstiques o interval estratigràfic caracteritzat per trets diagenètics comuns i exclusius observats a microscopi (Limarino i Caselli, 1995). Les microfàcies definides es poden dividir en silicificades i no silicificades.



■ silicificat      □ cobert      ~ discordança silicificació/estratificació  
 ■ no silicificat      — estratificació      || fractures cimentades amb baritina i calcedònia

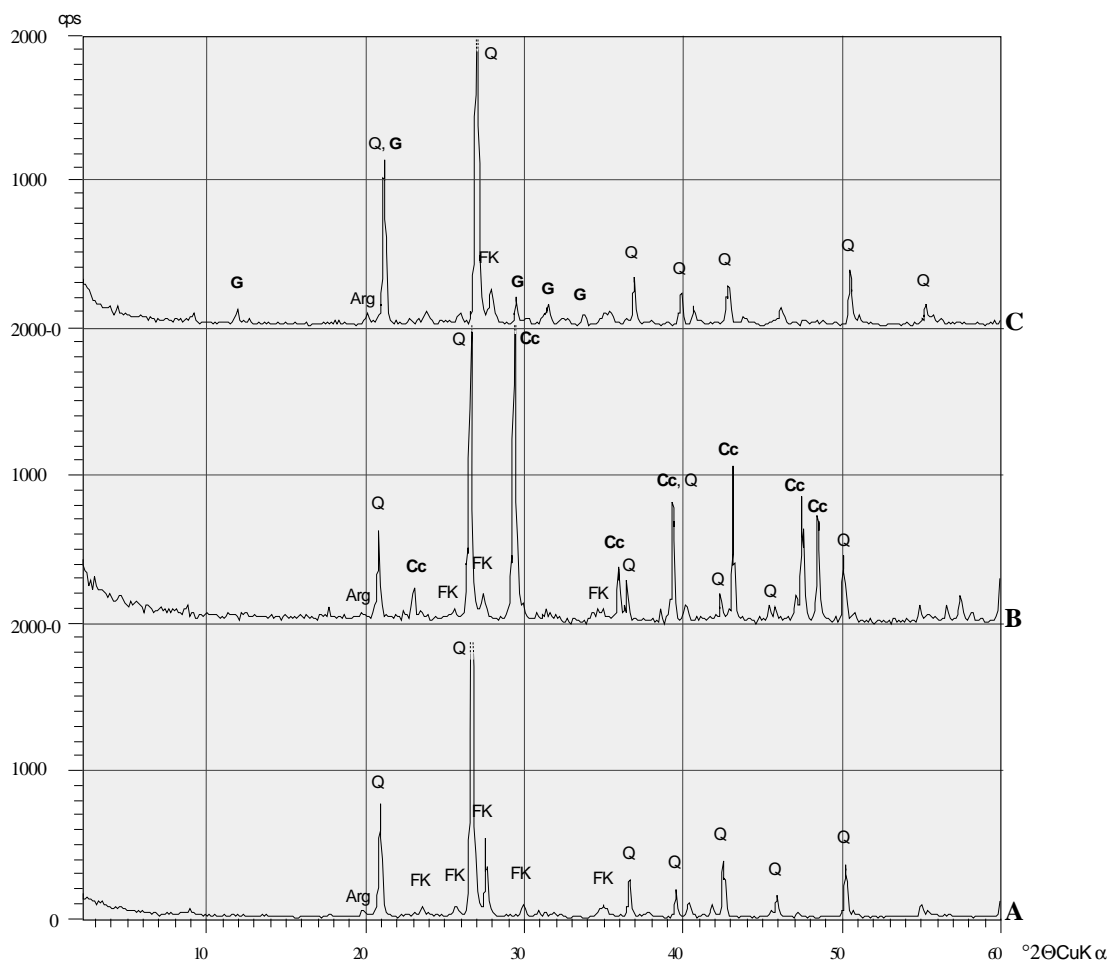
fig. 17. Distribució de les microfàcies dins la formació de Montjuïc. Cal destacar el front de silicificació que talla els nivells més fins de la part superior de la Unitat del Morrot. Pedrera de Riviere.

### *Microfàcies no silicificades (MnS)*

Són gresos directament lligats a les litologies més fines i carbonàtiques (Làmina III B i E i Làmina IV F). El seu contingut en bioclasts pot ser important (fins un 10%). Els feldspats estan quasi totalment alterats a il·lita i caolinita. L'alteració dels feldspats i de les fil·lites ha canviat la textura original de la roca augmentant el seu contingut en matriu (pseudomatriu). Els feldspats i els fragments carbonàtics poden ser dissolts originant porositat secundària. Es pot trobar alguna cimentació molt limitada en forma de petits sobrecreixements de feldspat potàssic o de nòduls i petites capes cimentades per la precipitació de calcita en mosaic *equant* a la porositat intergranular. Localment, s'ha observat la presència de pseudomorfs de pirita oxidats. Els gresos no silicificats estan poc fracturats i les fractures presents són reomplertes per calcita i guix.

L'anàlisi de raigs X d'aquesta microfàcies dóna difractogrames constituïts per quars, feldspat i argila, que són les mineralogies principals dels components detrítics als gresos de Montjuïc (fig.

18); amb aquesta tècnica també s'ha pogut detectar la cimentació de calcita i, minoritàriament, la de guix.



**fig. 18.** Difractogrames de raigs X per a gresos no silicificats (A: poc cimentat. Mostra FMM - 10; B: cimentat per calcita. Mostra FMM - 11; C: cimentat per guix. Mostra FMM - 9). Arg: Argila, Q: Quars, FK: Feldspat potàssic, Cc: Calcita, G: Guix.

### *Microfàcies silicificades (MS)*

La sílice es pot presentar en diferents espècies minerals identificables al microscopi petrogràfic segons les seves propietats òptiques característiques, descrites a la taula H.

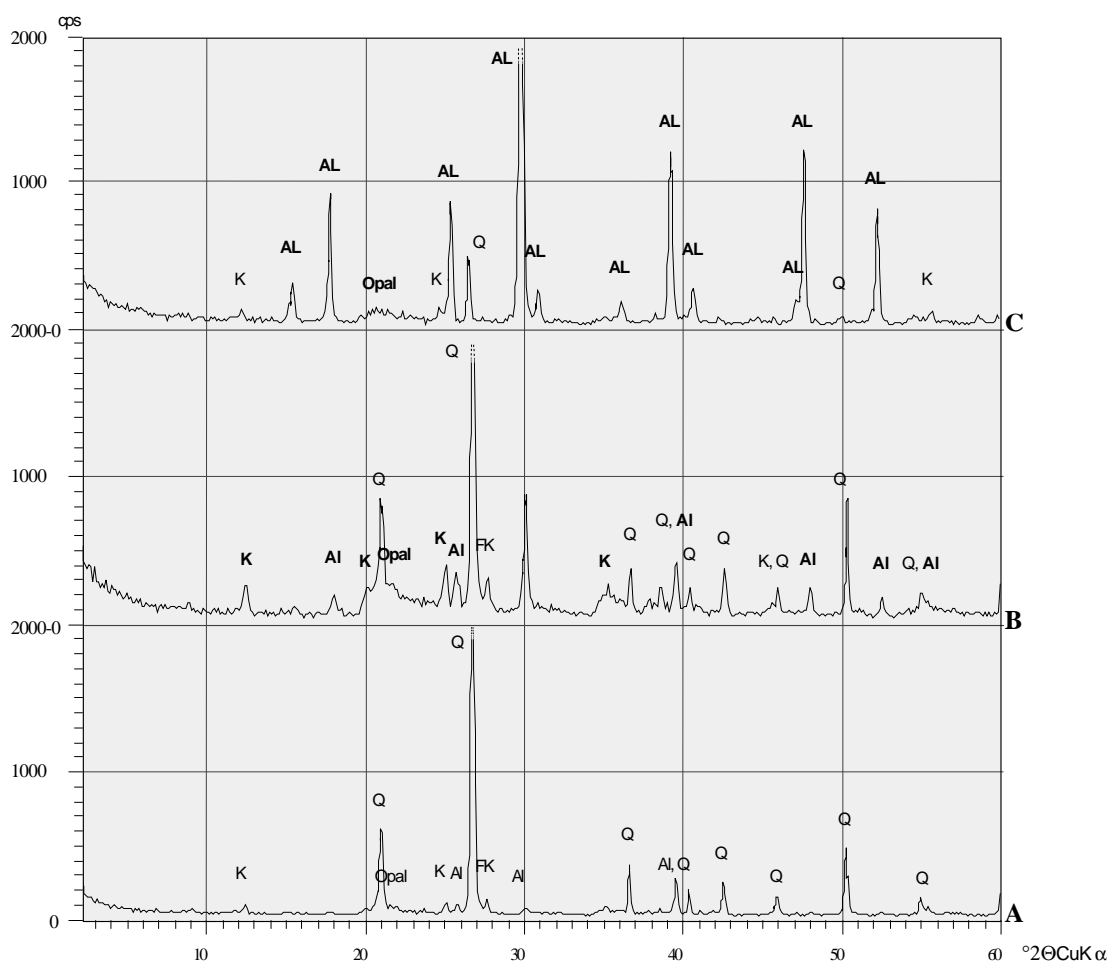
La majoria de gresos de Montjuïc estan silicificats, excloent-ne els més fins i impermeables. Aquesta silicificació pot ser molt important, fins a ocupar el 55% de la roca. La presència de diferents formes de la sílice i de minerals autigènics secundaris (alunita, il·lita, caolinita, hematites i òxids de titani) permet identificar les diferents microfàcies diagenètiques.

**Taula H.** *Varietats de la sílice al microscopi petrogràfic.*

<b>Quars</b>	Mesoquars	Cristalls més grans de 20 µm (Làmina IV A)
	Microquars	Cristalls més petits de 20 µm (Làmina IV C)
<b>Calcedònia</b> (hàbit fibrós)	Quarsina (length-slow chalcedony)	elongació positiva, eix c paral·lel a les fibres i birefringència constant a totes les fibres.
	Lutecita	forma dos sistemes de fibres entrecruades (hàbit en pinta de cabell), elongació positiva i eix c a 29° de les fibres.
	Calcedonita (length-fast chalcedony)	elongació negativa, eix c perpendicular a les fibres i birefringència variables entre fibres (Làmina V D).
	Calcedonita zebrada	elongació negativa, eix c amb disposició helicoidal i perpendicular a les fibres, birefringència variable al llarg d'una mateixa zona.
	Calcedònia taulell escacs Checkerboard chalcedony	zones amb elongació negativa alternes amb d'altres d'elongació positiva, donant l'aparença d'un taulell d'escacs (Làmina V D).
<b>Òpal</b> (amorf)	Isòtrop	aspecte granut, completament isòtrop i incolor a marró clar amb llum natural (Làmina V C i F).
	Lussatita	fibrós, elongació positiva i birefringència molt feble (Làmina V E).

– Gresos amb òpal (MS-1): A l'aflorament són gresos desagregables amb pàtines vermelles i blanques. La distribució d'aquestes fàcies en els gresos és aleatòria, formant zones irregulars de dimensions decamètriques o, localment, capes centimètriques ben individualitzades. Aquests gresos es caracteritzen per la presència d'òpal (òpal CT per determinació als RX; Làmina VIII B i C), alunita (Làmina VIII D i E) i motes d'hematites que ocupen el volum intergranular (Làmina IV B). En els porus més grans es desenvolupen esferulites d'òpal (20-30 µm) i *pore-fillings* de caolinita (Làmina VIII F). Els grans de quars i de feldspat poden presentar petits sobrecreixements que, en el cas del quars, tenen la vora irregular interpenetrada amb la matriu de l'espai intergranular. Una part dels feldspats potàssics ha estat reemplaçada per caolinita i les biotites han estat dissoltes, restant només motlles d'òxids de titani residuals. Puntualment, es troba caolinita, alunita i òpal en venes paral·leles a l'estratificació de fins a 2 cm de gruix (Làmina VI D).

L'anàlisi de raigs X de les mostres amb aquesta microfàcies mostra l'aparició d'òpal, alunita i caolinita, en forma de pics de baixa intensitat, a més dels minerals detrítics habituals. L'anàlisi d'una de les venes paral·leles a l'estratificació dona difractogrames amb pics de caolinita i alunita d'alta intensitat (fig. 19).



**fig. 19.** Diffractogrames de raigs X per a gresos amb òpal (A: gres amb òpal i alunita. Mostra FMR - 31; B i C: vena amb òpal, caolinita i alunita. Mostra FMM - 31). K: Caolinita, Q: Quars, FK: Feldspat potàssic, AL: Alunita, Opal: Òpal.

– Gresos amb quars microcristal·lí (MS-2): El volum intergranular d'aquests gresos conté elements de la matriu detrítica original (argiles, quars i feldspats), però sobretot és ocupat per quars microcristal·lí (25-55 %; Làmina IV C) amb quantitats variables d'hematites (1-20 %) i una mica d'alunita. L'alunita és escassa i tan sols detectable a la microsonda electrònica en forma de petits cristalls entre el microquars. L'hematites es troba en forma de petites motes (10-20 µm) entremig del microquars o envoltant els feldspats potàssics i els clasts metamòrfics. En alguns casos, els grans de feldspat i de quars presenten sobrecreixements irregulars. Els feldspats potàssics detrítics són en gran part reemplaçats per il·lita i caolinita. Molt esporàdicament, s'han observat nòduls de crandal·lita (fosfat bàsic hidratat d'alumini i de calci).

– Gresos amb sobrecreixements autigènics (MS-3): Són gresos fortament cimentats per sobrecreixements de feldspat i de quars detrítics (Làmina IV A). El ciment de feldspat potàssic és



el primer a precipitar, formant aurèoles de sobrecreixement euèdrics, sovint zonades, amb un gruix variable entre 10 i 150  $\mu\text{m}$ . Aquest sobrecreixement de vegades es desenvolupa a la porositat deixada per la dissolució dels feldspats, a partir dels relictos detrítics. Els ciments syntaxials de quars es formen a continuació envoltant els grans detrítics amb quars i poden tenir de 20 a 160  $\mu\text{m}$  d'espessor. De vegades, l'alineació de diminutes inclusions fluides permet observar làmines de creixement en els sobrecreixements de quars.

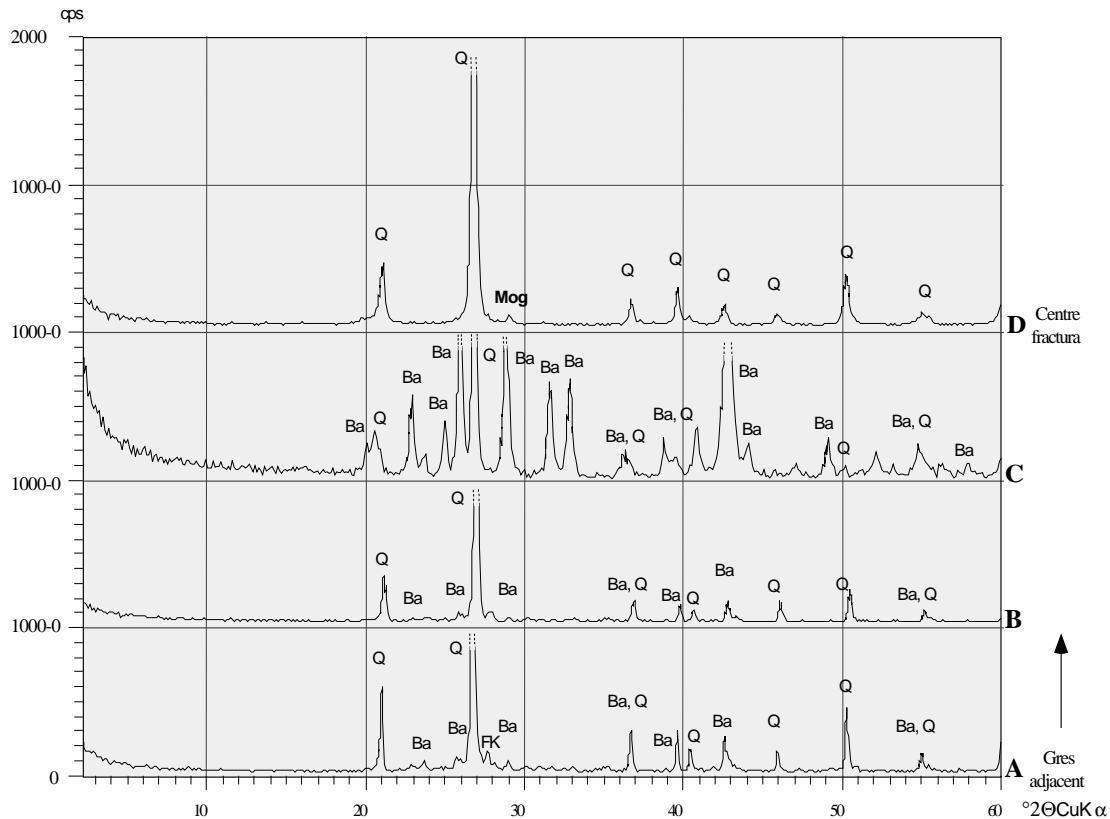
– Gresos amb carbonats silicificats(MS-4): Dins dels gresos silicificats, localment, trobem motlles de bioclasts total o parcialment dissolts. Les parts no dissoltes poden ser reemplaçades per quars amb preservació de la microestructura original (Làmina VI E). Les parts dissoltes poden ser ocupades per quars prismàtic que creix a partir de les parets de la porositat mòldica.

– Altres tipus de gresos silicificats(MS-5): En algunes mostres s'observa que l'espai intergranular ha estat reomplert per cristalls de mesoquars amb morfologia prismàtica i disposats ortogonalment (Làmina VI F). Les anàlisis de microsonda indiquen que entre aquests prismes de quars hi ha òxids de ferro i titani, caolinita i alunita. Aquests hàbit del quars ha estat descrit com el producte de la silicificació de sulfats (Arbey, 1980). Podent ser en el cas de Montjuïc guix o baritina autigènics precipitats prèviament a la silicificació.

– Cimentació de les fractures: En els gresos silicificats trobem moltes diàclasis, cimentades segons una zonació de minerals del grup de la sílice present pràcticament a totes les fractures, només a les de la part superior de la Unitat del Castell hi apareix baritina (veure apartat 6.4 del capítol 6). En algunes fractures apareixen bretxes de reompliment formades per fragments angulosos del gres encaixant.

La disposició asimètrica de les esferulites de calcedonita a la paret de les venes indica clarament la seva precipitació a partir de percolacions verticals. Així mateix, la cimentació de les bretxes dins de les diàclasis, mostra dipòsits d'òpal il·luciat a la base dels porus (Làmina V F) i els clasts són coronats per una làmina (còfia) de microquars de 10 a 50  $\mu\text{m}$  d'espessor. Aquestes morfologies geotròpiques indiquen clarament la circulació descendent en zona vadosa de les solucions que han silicificat les fractures.

L'anàlisi de raigs X de les diferents bandes de la vena ens permet veure la variació de les diferents mineralogies des del gres adjacent cap a la vena (fig. 20). El difractograma del gres adjacent a la diàclasi mostra pics de baritina de baixa intensitat juntament amb quars i feldspat detrítics. Els difractogrames de la fractura mostren l'aparició de baritina en quantitats importants. A la darrera banda només apareixen els pics del quars, acompanyats d'un petit pic a 3,10 que caracteritza a la calcedònia. Aquest pic anòmal a 3,10 ha estat definit per a una varietat de la sílice anomenada moganita (Flörke, O.W. *et al.*, 1984).



**fig. 20.** Difractogrames de raigs X per a les fractures silicificades (A: gres adjacent a la fractura. Mostra FMP - 2; B: franja de microquars i baritina. Mostra FMP - 4; C: franja de baritina. Mostra FMP - 4; D: calcedònia. Mostra FMP - 4). Q: Quars, FK: Feldspat potàssic, Ba: Baritina, Mog: Moganita (pic 3.10).

### *Relació entre les microfàcies i les varietats constructives de la pedra de Montjuïc*

Els termes utilitzats per a l'explotació dels gresos de Montjuïc (blanquet i rebuig), tenen una estreta relació amb els diferents processos diagenètics observats. El rebuig equival essencialment a les microfàcies no silicificades (MnS) o a les microfàcies silicificades amb òpal (MS-1) les quals són fàcilment desagregables. Mentre que el blanquet engloba tots aquells gresos silicificats, sobretot aquells en que el principal producte autigènic és el quars (MS-2 i 3).

La majoria d'antigues pedreres de la muntanya de Montjuïc es localitzen al vessant NW de la muntanya on només aflora la Unitat del Castell (fig. 4). En aquesta unitat les capes de gres i conglomerat solen estar completament silicificades, així l'existència de blanquet o rebuig dependrà del tipus de silicificació. Per contra, a les pedreres del vessant del Morrot es va extreure pedra essencialment de la part superior de la Unitat del Morrot, on el rebuig equivaldria a les microfacies no silicificades.

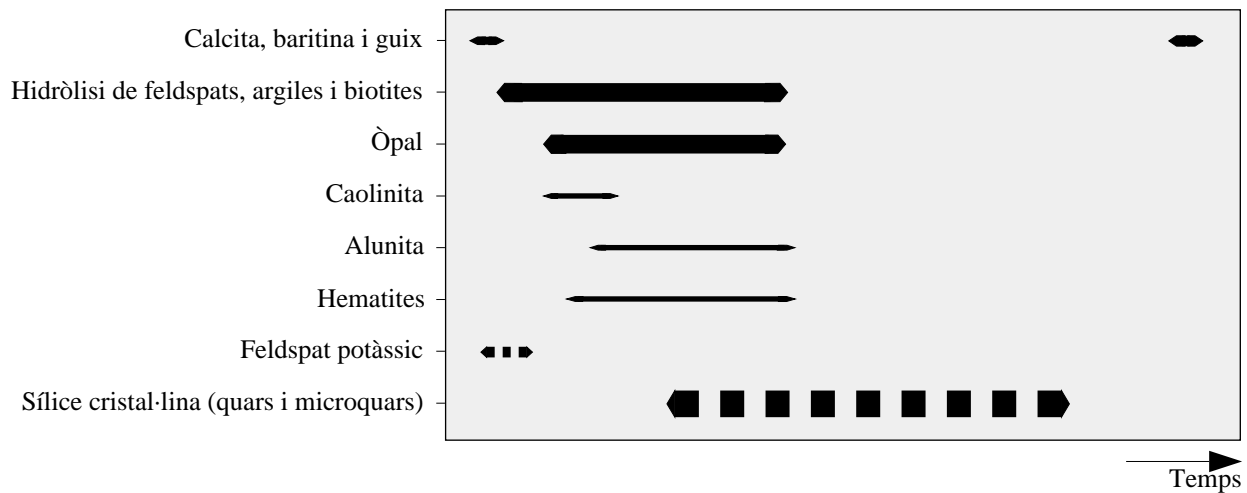
A banda de la varietat constructiva de la pedra de Montjuïc, aquesta muntanya ha estat explotada per a l'extracció de la “terra d'escudella”. Aquesta és formada per llims no silicificats de color ocre i vermell, que contenen majoritàriament quars, feldspats i argiles. Les mines de la “terra d'escudella” es localitzen a la Unitat del Castell, concretament, a la base del cinquè cicle (fig. 7; p. ex. al Club de Natació de Montjuïc) i correspondrien a fàcies de barra de desembocadura distal (front deltaic). La “terra d'escudella” era utilitzada com a sabó per rentar roba. El quars actua com a abrasiu i les argiles com a absorbents (Calvet, com. pers.).

#### 8.4. Successions diagenètiques

Les relacions geomètriques entre les diferents fases minerals diagenètiques permeten precisar-ne la successió temporal. Inicialment, podrien haver precipitat alguns sulfats (guix o baritina) i calcita. Aquestes serien les primeres manifestacions diagenètiques enregistrades en el gres però han estat enmascareades per la silicificació, ja que només en resten pseudomorfs silicificats. La hidròlisi (parcial o total) dels feldspats i la dissolució d'una part dels bioclasts carbonàtics i de les biotites esdevé a continuació i va acompanyada de la transformació de la matriu argilosa a òpal i de la precipitació d'hematites, alunita i caolinita. Totes aquestes espècies minerals conviuen dins de la matriu transformada dels gresos de Montjuïc, sense indicis que n'hi hagi hagut algun que s'hagi format primer que els altres.

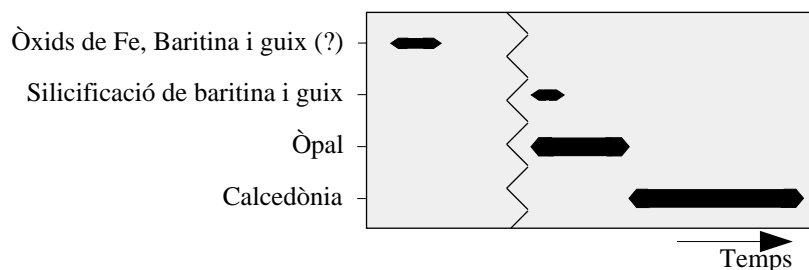
Els sobrecreixements de feldspat són idiomòrfics i el quars sintaxial s'adapta a la seva forma. Així, els sobrecreixements de feldspat potàssic semblen relativament precoços, tot i que la cronologia respecte a la formació d'òpal i alunita no ha pogut ser establerta. El desenvolupament de formes cristal·lines de la sílice (quars microcristal·lí i sobrecreixements en els grans detrítics) constitueix aparentment la darrera fase de l'evolució diagenètica de la sèrie en els gresos. La calcita no està genèticament lligada a la silicificació i és pròpia dels gresos no silicificats. Tanmateix, en alguns gresos amb sobrecreixements es pot observar una generació de calcita

posterior a la silicificació. A la figura 21 es representa gràficament la precipitació de les diferents mineralogies autigèniques dels gresos de Montjuïc al llarg del temps.



**fig. 21.** Representació gràfica de la precipitació de les diferents mineralogies autigèniques dels gresos de Montjuïc al llarg del temps.

A les fractures, el dipòsit de baritina i d'òxids de ferro apareix com un fenomen diagenètic primerenc en medi freàtic. Els gresos adjacents a les fractures són silicificats posteriorment a la formació de la baritina. El reemplaçament dels sulfats i la precipitació d'òpal i de calcedonita de les fractures apareixen com un fenomen tardà en medi vadós ja que cimenten clasts silicificats a les bretxes de rebliment de les diàclasis. És possible que el rebliment detrític de les diàclasis es produís en passar de medi freàtic a medi vadós. A la figura 22 es representa gràficament la precipitació de les diferents mineralogies autigèniques a les fractures.



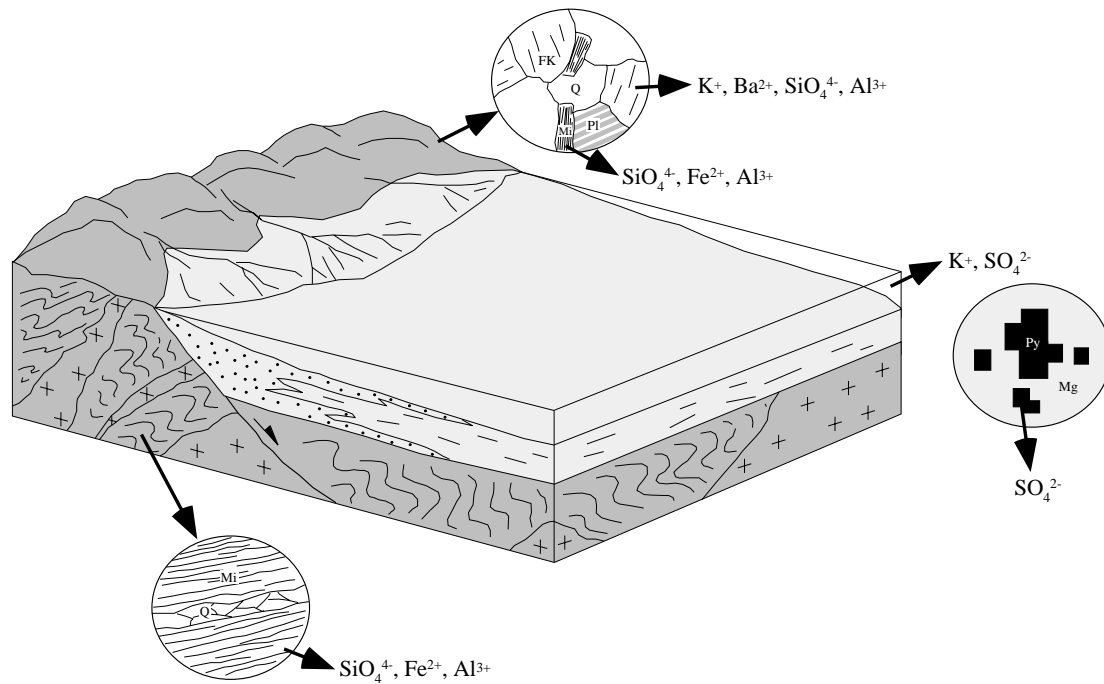
**fig. 22.** Representació gràfica de la precipitació de les diferents mineralogies autigèniques a les fractures dels gresos de Montjuïc al llarg del temps. La línia trencada representa el rebliment detrític de la fractura.

### 8.5. Font dels ions autigènics

El desenvolupament de mineralogies autigèniques implica que hi ha hagut un transport en solució de soluts. Concretament, la precipitació de feldspat potàssic, alunita, caolinita, minerals del grup de la sílice, hematites i de baritina comporta que els principals ions en solució han estat:  $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ . Tenint en compte les característiques geològiques de Montjuïc es pot especular sobre la procedència d'aquests elements (fig. 23).

La sílice pot venir de la hidròlisi de silicats (feldspats, argiles i miques), ja sigui a l'àrea font i transportada per fluids meteòrics com *in situ*. El potassi es troba en petites quantitats a les aigües marines i es pot concentrar en salmorres, encara que també pot ser alliberat per la hidròlisi d'il·lites i feldspats potàssics del sediment o ser transportat des de l'àrea font. L'alumini també pot tenir el seu origen en la hidròlisi de feldspats, argiles i miques, tot i que és un element molt difícil d'alliberar de l'estructura dels silicats, a pH àcids pot ser lixiviat. El sulfat pot tenir dos orígens principals, l'aigua del mar pot ser una font important de sofre o també, l'oxidació de la pirita present a Montjuïc (Unitat del Far) també alliberarà aquest element. El bari es pot alliberar dels feldspats potàssics per hidròlisi, ja que aquests sempre en tenen petites quantitats (Taula D). Finalment, el ferro és un element molt abundant i pot ser alliberat per la hidròlisi de miques i argiles o pot venir des de l'àrea font transportat per fluids meteòrics.

El contingut actual en Ba,  $\text{SiO}_2$  i K de les aigües procedents del massís de Collserola és suficient com per precipitar baritina, quars i feldspat potàssic respectivament (Carmona, com. pers.).



**fig. 23.** Representació esquemàtica de la procedència dels diferents ions de les mineralogies autigèniques dels gresos de Montjuïc (ja sigui a l'àrea font o en els fragments de roca dels gresos). Q = Quars, FK = Feldspat potàssic, Pl = Plagioclasi, Mi = Mica, Py = Pirita, Mg = Marga.

## 9. MODEL GEOQUÍMIC DE LA SILICIFICACIÓ

---

### 9.1. Introducció

Els processos diagenètics que han actuat sobre una roca sedimentària, el mecanisme de transport dels soluts (difusió vs. advecció), el quimisme dels fluids que han transformat el sediment original (pH, Eh, salinitat...) i la font dels minerals autigènics (interna vs. externa) són paràmetres que es coneixen a partir de les dades analítiques, petrològiques i de camp. La integració de totes aquestes dades permet idear un model conceptual del sistema que és objecte d'estudi.

Tot model geoquímic duu implícit un cert grau d'incertesa. En el cas de la modelització geoquímica es pot realitzar una quantificació del model (modelització quantitativa) considerant les equacions termodinàmiques d'equilibri i/o la cinètica que actuen en el sistema. La modelització quantitativa permet comprovar si un model conceptual no va en contra de les lleis de la termodinàmica i/o de la cinètica. Tot i així, els models quantitius tenen sempre un error implícit causat per la simplificació del propi model i pel càlcul numèric.

### 9.2. Mecanismes geoquímics

La silicificació dels gresos de Montjuïc implica multitud de processos, els quals han actuat més o menys contemporàniament en la transformació de la roca. A partir de les observacions fetes es dedueix que els principals processos relacionats amb la silicificació dels gresos de Montjuïc han estat l'autigènesi i la hidròlisi del feldspat potàssic, la hidròlisi de la plagiòclasi, la transformació de les argiles, l'autigènesi de minerals del grup de la sílice als gresos i a les fractures, la remobilització i precipitació d'hematites, l'autigènesi d'alunita i la precipitació de baritina a les fractures (veure capítol 8). El comportament químic dels diferents minerals involucrats en la

silicificació dóna idea de quins han estat els principals mecanismes geoquímics que han actuat durant la silicificació dels gresos de Montjuïc.

### *Geoquímica de la sílice.*

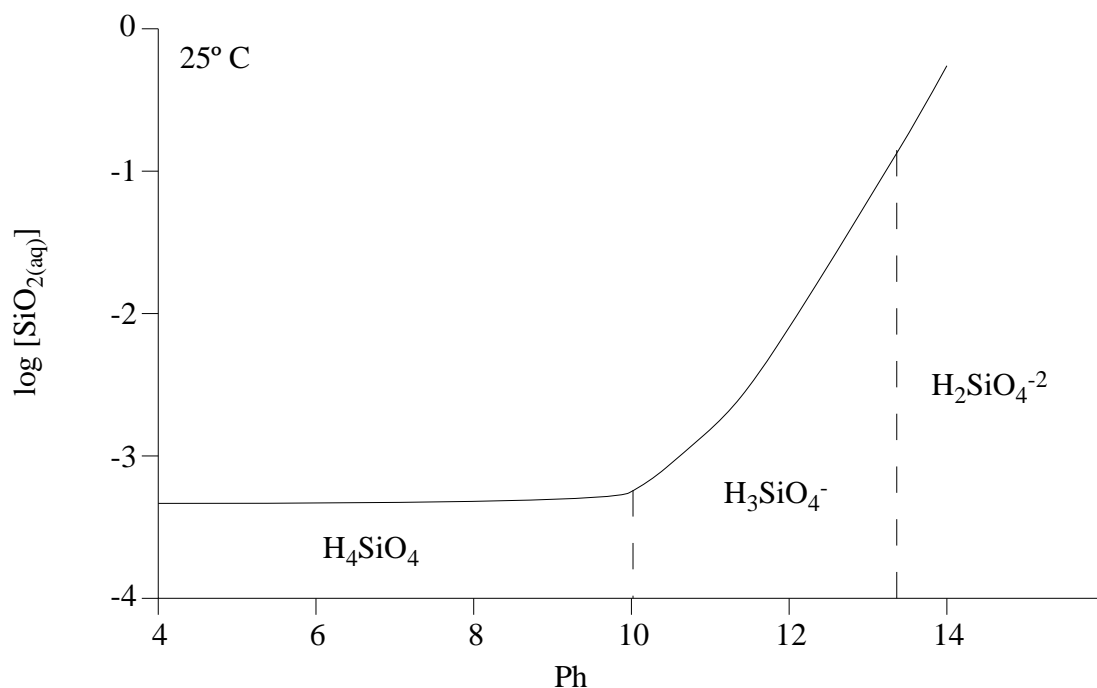
Tot i que sovint es parla de la sílice com un silicat més que com un òxid (degut a l'estructura cristal·lina del quarz com a silicat), la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) és un òxid. Per tant, la sílice, en entrar en contacte amb l'aigua, s'hidrolitza i forma un àcid dèbil anomenat àcid silícic (1 i 2).



La solubilitat de la sílice, a condicions estàndard (25°C i 1 atm), és aproximadament igual a la concentració d'àcid silícic i és diferent per a cada espècie del seu grup. La sílice amorfa (òpal) és més soluble que la calcedònia i, a la vegada, la calcedònia és més soluble que el quarz (Iler, 1979). Això es deu a que els sòlids amb un grau d'ordenament intern menor tenen l'entropia més baixa i, per tant, es poden descompondre abans que aquells sòlids amb un grau d'ordenament intern més gran. Els factors més importants que afecten la solubilitat de la sílice són:

– pH: Mantenint la resta de variables constants, per a  $\text{pH} < 9$  la solubilitat de la sílice és petita i constant, mentre que a partir de  $\text{pH} > 9$  la solubilitat de la sílice augmenta exponencialment (fig. 24).





**fig. 24.** Relació entre el  $Ph$  i la solubilitat de la sílice, segons la dissociació de l'àcid silícic.

– Temperatura i pressió: La solubilitat de tots els polimorfs de la sílice s'incrementa amb la temperatura. Un increment en la pressió també incrementarà la solubilitat de la sílice. Tanmateix, aquest fet va associat també al canvi de temperatura, així que els efectes de la pressió són normalment ignorats.

– Salinitat: La solubilitat de la sílice pot disminuir sensiblement en presència de sals, clorurs i sulfats (Marshall, 1980, Delmas *et al.* 1982 i Thiry, 1997). L'increment en la salinitat d'un medi pot ser determinant en una silicificació. Per aquesta raó hi ha moltes silicificacions que estan relacionades amb dipòsits evaporítics (Folk i Pittman, 1971 i Arbey, 1980).

– Tipus de nucleació: La nucleació és un requisit indispensable per al creixement cristal·lí. Pot ser de dos tipus (Delmas *et al.* 1982): homogènia, quan la nucleació es produeix dins de la solució (grau de sobresaturació elevat), o heterogènia, quan el creixement cristal·lí aprofita la presència de nuclis preexistents (grau de sobresaturació baix).

L'autigènesi de la sílice es pot desenvolupar per tres mecanismes principals: precipitació, recristal·lització i reemplaçament (Thiry, 1997).

- Precipitació: La precipitació del quars sempre es produeix per nucleació heterogènia de solucions poc salines (Thiry, 1997), mentre que les varietats de baixa cristal·linitat de la sílice (òpal i calcedònia) poden precipitar per nucleació homogènia en solucions molt concentrades.

- Recristal·lització: La recristal·lització de la sílice actua des de les formes de baixa cristal·linitat cap a les més cristal·lines. Es dona per successius processos de dissolució - precipitació i depèn de la velocitat de dissolució de la fase metastable, de la nucleació del mineral que precipita i de la seva velocitat de creixement.

– Reemplaçament: Altres vegades, la sílice reemplaça minerals com ara sulfats (baritina o guix; Arbey, 1980) o carbonats (calcita o dolomita; Bustillo *et al.*, 1998 i Thiry *et al.*, 1999). El reemplaçament es pot produir posteriorment a la dissolució, però, de vegades, es fa amb preservació de l'estructura del mineral original i el mecanisme és de dissolució - precipitació immediats, sense formació de porositat secundària.

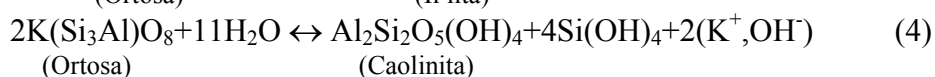
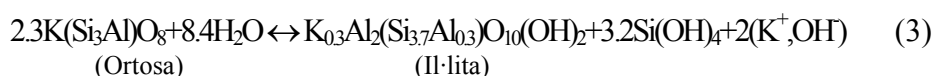
### *Geoquímica del feldspat potàssic.*

– Autigènesi: La cimentació de feldspat potàssic no és diagnòstica d'unes determinades condicions químiques ni d'un medi diagenètic (Kastner *et al.*, 1979). Els principals requisits per a la seva precipitació són: un medi sobresaturat en quars, ric en potassi i amb un pH no gaire baix (fig. 25). Morad *et al.* (1989) citen un cas de cimentació superficial de feldspat potàssic al Buntsandstein de la Serralada Ibèrica.

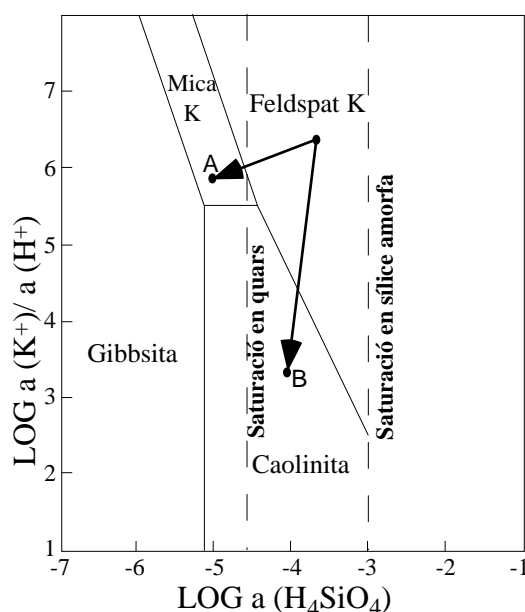
– Hidròlisi: Molts dels feldspats detrítics dels gresos de Montjuïc són hidrolitzats a caolinita i il·lita. La hidròlisi és l'alteració dels minerals per l'aigua i és el mecanisme fonamental d'alteració dels silicats (Millot, 1964). La reacció fonamental d'alteració de qualsevol mineral es pot descriure com (Chanley, 1989):



L'alteració dels feldspats potàssics s'inicia amb la ràpida substitució dels ions  $K^+$  per ions  $H^+$ . El mineral secundari variarà segons la intensitat en el lixiviat del  $K^+$  (3 i 4).



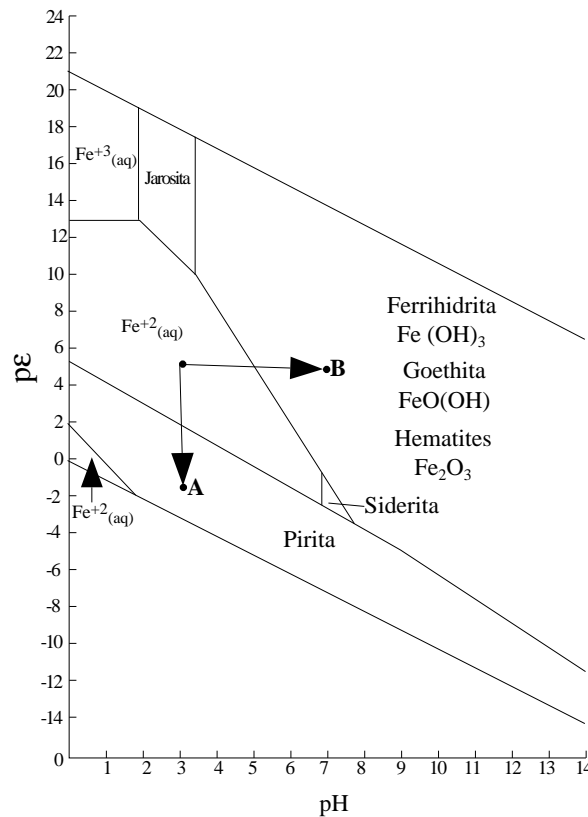
Si el lixiviat de  $K^+$  no és molt intens, el mineral secundari serà una il·lita (trajectòria A, fig. 25), mentre que, si el lixiviat és intens, es perd tot el  $K^+$  i s'obté caolinita (trajectòria B, fig. 25). La intensitat de la hidròlisi del feldspat potàssic és directament proporcional a l'acidesa del medi (Wollast, 1967).



**fig. 25.** Diagrama d'activitat per al sistema  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  a  $0^\circ$  (segons Kastner i Siever, 1979). A i B són diferents trajectòries d'hidròlisi del feldspat potàssic.

### Geoquímica dels òxids de ferro

El ferro pot romandre dissolt en forma d'ió ferrós ( $Fe^{2+}$ ) o d'ió fèrric ( $Fe^{3+}$ ). Aquests ions són estables a pH baix ( $pH < 7$ ) i, pel cas de l'ió fèrric, a pH molt àcid i  $p_e$  (capacitat del medi de reaccionar amb l'oxigen) molt elevat, difícil de trobar en condicions naturals. Així, en la majoria de casos el ferro és transportat en solució en forma d'ió ferrós a pH neutre - àcid. El ferro pot precipitar en forma de diferents minerals. Si hi ha una davallada del  $p_e$  (medi reductor; trajectòria A, fig. 26), precipitarà en forma de pirita (considerant que al medi hi ha suficient sofre) o, si hi ha un augment del pH, precipitarà en forma d'òxids i hidròxids (goethita, hematites o ferrihidrita; trajectòria B, fig. 26) o de carbonat (siderita) sempre que hi hagi suficient carbonat en el medi (fig. 26).



**fig. 26.** Diagrama P-E-Ph per a minerals de Ferro a 25°C, assumint activitats de  $10^{-4}$  per ferro dissolt,  $10^{-4}$  per potassi dissolt i  $10^{-2}$  per sofre dissolt i assumint un  $P_{CO_2} = 10^{-2}$  (segons Nordstrom i Munoz, 1986).

Sota condicions àcides i oxidants el ferro tendeix a ser lixiviat de la roca i remobilitzat (Ferguson *et al.*, 1983 i Milnes *et al.*, 1992). La seva precipitació, ja sigui en forma de sulfur, d'òxid o de carbonat dependrà de les variacions en pH i pE del medi.

#### Geoquímica de l'alunita

L'alunita és un sulfat de potassi i alumini hidratat. La seva precipitació es dona en medis àcids (pH  $\approx$  4; Saavedra *et al.*, 1981). En un medi àcid l'alumini és més soluble que el silici (pH < 5; Millot, 1964) i, per tant, hi ha un intens lixiviat d'aquest element de l'estructura dels aluminosilicats. Aquest lixiviat i la presència d'un fluid salí amb  $K^+$  i  $SO_4^{2-}$  faciliten la precipitació d'alunita.

L'alunita és un mineral que ha estat interpretat com a hidrotermal, però hi ha exemples d'autigènesi d'alunita superficial a baixa temperatura (Goldbery, 1978 i 1980 i M<sup>c</sup>Arthur *et al.*, 1991) que en alguns casos està lligada a silicificacions (Saavedra *et al.*, 1981; Meyer *et al.*, 1985 i Thiry *et al.*, 1991).

### *Geoquímica de la baritina*

El bari és molt poc soluble en presència de sulfat ( $K \approx 10^{-14}$ ) de manera que la precipitació de baritina es deu a la mescla d'aigües no sulfatades riques en bari amb aigües sulfatades. La baritina no és diagnòstica d'un medi concret, ja que pot precipitar en condicions molt variables. De vegades s'ha trobat associada a silicificacions (Meyer *et al.*, 1985).

Una altra possibilitat de precipitar baritina sense necessitat d'apel·lar a una procedència diferent del sofre i del bari, és la de transportar bari i sofre junts en un medi reductor, en el qual el sofre es troba en forma d'àcid sulfhídric. Si aquest medi passa a condicions oxidants el sofre s'oxida, passa a sulfat i immediatament precipita baritina.

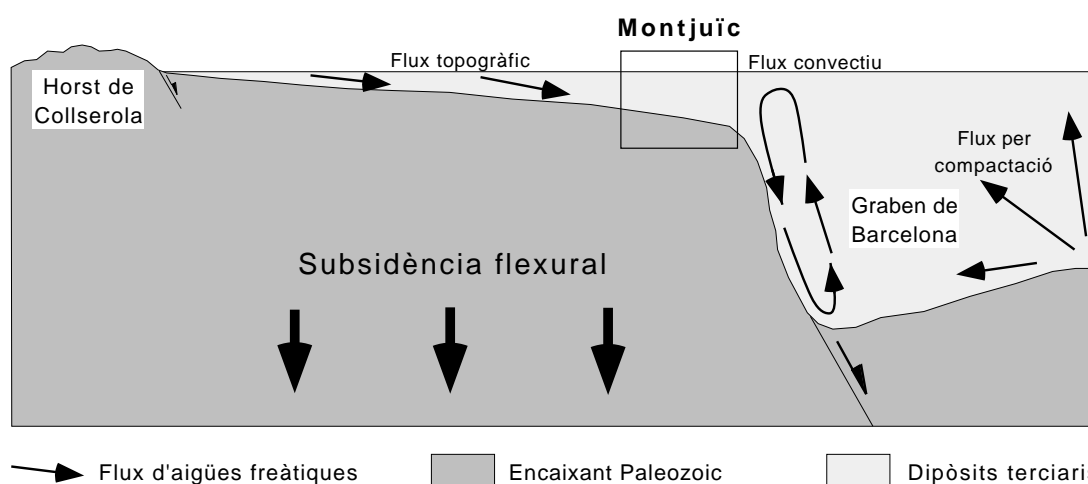
### **9.3. Model geoquímic conceptual**

La diagènesi de Montjuïc és primerenca. Segons la classificació de Schmidt i McDonald (1979), es parlaria d'eodiagènesi, o diagènesi esdevinguda a l'ambient deposicional. La sèrie de Montjuïc no ha estat mai subjecte a un soterrament notable (veure apartat 8.2, capítol 8). Per tant, la silicificació s'ha produït prop de la superfície; el context geològic, l'absència de compactació i el retreballament de les mateixes fàcies silicificades (fragments intraformacionals) confirmen aquesta hipòtesi.

La transformació del sediment detrític original ha estat profunda i el seu abast afecta, pràcticament, a tota la muntanya. Els gresos de Montjuïc han estat massivament silicificats. Aquestes característiques són pròpies de medis amb una intensa circulació de fluids on l'advecció és el mecanisme de transport de soluts dominant (Bjørlike i Egeberg, 1993). En ser un procés superficial, la temperatura d'aquests fluids no podia ser molt elevada ( $< 50^{\circ}\text{C}$  segons el model de Person i Garven (1994)). A més, les silicificacions a altes temperatures tenen un abast molt reduït (Canals *et al.*, 1995). De totes maneres, més endavant es veurà com els factors que han exercit un control determinant sobre la silicificació de Montjuïc han estat el pH i la salinitat dels fluids. La diversitat de microfàcies diagenètiques implica l'acció de més d'un fluid al llarg del temps.

Independentment dels mecanismes considerats, la silicificació amb desenvolupament d'importants aurèoles de sobrecreixement i sense dissolució aparent del quars detrític implica una important circulació de fluids per tal de renovar la sílice precipitada en el transcurs de la diagènesi. Per satisfer aquest balanç de matèria cal tenir en compte fluxos importants de fluid, propis de

silicificacions d'aigües freàtiques (Thiry, 1999). En el cas de Montjuïc, degut a la seva situació dins la zona d'enllaç, a cavall entre el horst de Collserola i el graben de Barcelona, les forces motrius (*driving forces*) que han dirigit aquesta circulació de fluids poden tenir relació o bé amb l'aixecament de relleus a l'àrea del horst de Collserola (forces motrius topogràfiques) o bé amb altres mecanismes relacionats amb la circulació de fluids pel graben de Barcelona (forces motrius convectives), tal com queda expressat a la figura 27.

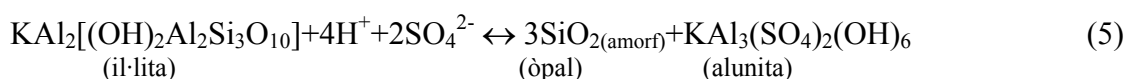


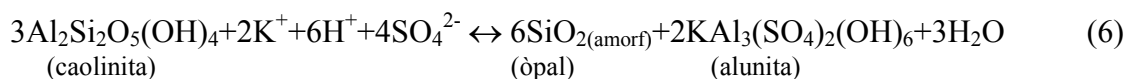
**fig. 27.** Situació relativa de Montjuïc (Serraval·lià) respecte als tipus de fluxos relacionats amb l'etapa de post-rift en un graben. Modificat de Person i Garven (1994).

### Quimisme de la silicificació

L'alunita és un mineral simptomàtic de medis molt àcids i amb una certa salinitat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Aquesta solució salina i àcida pot provenir d'un fluid marí que ha estat acidificat.

A pH àcid augmenta la solubilitat de l'alumini el qual és lixiviat de l'estructura dels aluminosilicats (feldspats, miques i argiles), mentre que la sílice, la solubilitat de la qual no varia a pH àcid, resta immòbil sota la forma de sílice amorfa i/o òpal CT (Milot, 1964, Rayot *et al.*, 1992 i Roulin *et al.*, 1986). L'alumini és immobilitzat en forma d'alunita o, si el pH augmenta lleugerament i hi ha sílice disponible, en forma de caolinita. Aquest mecanisme explica les associacions alunita - òpal CT - caolinita trobades en diverses mostres. Goldbery (1978) proposa dos possibles reaccions per a la formació d'òpal i alunita. La primera a partir d'il·lita (5) i la segona a partir de caolinita (6), en la qual els ions de  $\text{K}^+$  provenen de la dissolució de la il·lita.



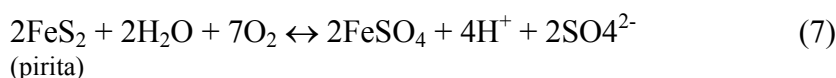


Aquest procés només queda registrat en els gresos amb un fort contingut en matriu o pseudomatriu argilosa, la qual és susceptible de ser reemplaçada per òpal. El fet que el fluid sigui de naturalesa salina afavoreix la precipitació de la sílice als gresos sense matriu. L'acidificació del medi també explica l'aparició de bandats d'òxids de ferro (marmorització) en els gresos silicificats, ja que els fluids àcids remobilitzen el Fe i l'acumulen en zones de pH lleugerament més elevat com ara els feldspats potàssics, les miques i els fragments de fil·lita micàcia, la hidròlisi dels quals allibera  $\text{OH}^-$  (veure reaccions (3) i (4); apartat 9.2).

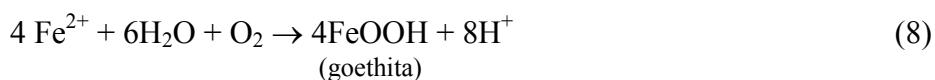
*Mecanisme d'acidificació del medi*

El mecanisme d'acidificació és difícil de precisar, hi ha dos mecanismes majors que poden ser considerats:

- L'oxidació de la pirita (7; Goldbery, 1978 i 1980, M<sup>c</sup>Arthur *et al.*, 1991 i Rayot, 1994).



- La ferròlisi, és a dir, l'oxidació de  $\text{Fe}^{2+}$  en solució que, en passar a goethita, allibera  $\text{H}^+$  (8; Mann, 1983 i McArthur *et al.*, 1991). Segons McArthur *et al.* (1991), l'ió  $\text{Fe}^{2+}$  pot resultar de la reducció microbiana a la superfície de la goethita.



En el context paleogeogràfic de Montjuïc, l'oxidació de dipòsits anòxics reductors (rics en matèria orgànica, pirita i/o ferro ferrós) lligats a medis deltaics (com és el cas de les unitats de margues del Far o de Miramar) pot haver causat l'acidificació. En aquest cas, els dos mecanismes considerats han pogut tenir incidència en l'acidificació del medi.

### *Precipitació de minerals del grup de la sílice*

La sílice alliberada dels reticles silicatats per les alteracions àcides pot alimentar solucions fortament sobresaturades respecte al quars i susceptibles de furnir les silicificacions descrites.

En aquest cas, dites solucions serien l'origen de cimentacions i/o recristal·litzacions a quars microcristal·lí i solucions més diluïdes originarien el sobrecreixement del quars detrític. Així, les

microfàcies amb òpal, quars microcristal·lí i sobrecreixements de quars podrien resultar d'una mateixa solució mare que progressivament es va empobrint en sílice, ja sigui per precipitació d'aquesta o per barreja amb solucions més diluïdes. La presència de quars pseudomorfitzant bioclasts i ciments previs de sulfats indica l'actuació de mecanismes de dissolució-precipitació immediata que preservarien l'estructura original reemplaçada. En aquest context, els sobrecreixements de feldspat serien anteriors a la precipitació de minerals del grup de la sílice, tal i com sembla mostrar el seu hàbit idiomòrfic entre els ciments syntaxials de quars.

#### *Precipitació a les fractures*

La presència d'indicadors de geotropisme (veure apartat 8.3 del capítol 8) indica que les silicificacions de les fractures de la part superior de la sèrie es fan sota l'efecte de circulacions vadoses tardanes posteriors a la cimentació del gres, per caiguda del nivell freàtic o exhumació de la sèrie.

La baritina, acompanyada d'altres sulfats (guix), és la primera en precipitar i omple la porositat del gres adjacent. Quan el sulfat ha estat completament consumit, les fractures són silicificades i reemplacen als sulfats. El guix és totalment reemplaçat per microquars pseudomòrfic. La baritina, en ser molt insoluble, només és reemplaçada puntualment per calcedònia.

El reompliment de la vena és culminat amb la precipitació de sílice. La seqüència de cristal·lització d'aquesta franja evoluciona de formes amorfes (òpal) cap a formes més cristal·lines (calcedònia). Aquesta evolució és característica de moltes silicificacions i és explicada per Thiry i Ben Brahim (1997): a l'inici de la silicificació en una fractura, les aigües estan en contacte amb els minerals de l'encaixant i es carreguen en cations, que impedeixen el creixement de cristalls. Quan la precipitació prossegueix, el fluid és progressivament aïllat de l'encaixant i augmenta la cristal·linitat de la sílice.

Sovint entre la banda d'òpal i la de calcedònia (calcedonita), apareix una banda isòpaca de calcedònia en taulell d'escacs (amb doble elongació). El fet que aquesta espècie mineral no hagi precipitat en esferulites fa pensar que s'ha format per la recrystal·lització de l'òpal, el qual sol precipitar en bandes isòpaques.



### *Hidrologia de la silicificació*

La silicificació de Montjuïc està estretament relacionada amb la circulació en medi freàtic de fluids d'origen marí a través dels gresos i conglomerats. La presència en els gresos de microfàcies amb òpal, microquars i quars sobrecregut indica una progressiva dilució del fluid que silicifica. Aquesta dilució pot ser el producte de l'entrada d'aigües meteòriques del continent, les quals també podrien ser les responsables de la silicificació a les fractures en medi vadós en un moment de davallada del nivell freàtic.

Les microfàcies no silicificades es concentren en zones de baixa circulació de fluids. Aquesta baixa circulació seria produïda per l'existència de zones de baixa permeabilitat (p. ex. unitats del Far i de Miramar o parts lutítiques de la Unitat del Castell) o per altres causes (com, per exemple, el tamponament del pH per presència de carbonats).

### **9.4. Modelització termodinàmica quantitativa**

Hi ha molts programes informàtics que permeten fer una modelització geoquímica d'un sistema (p. ex. "React", Bethke (1992); "Chess", Van der Lee *et al.* (1999)), però en definitiva tots funcionen igual. Aquests programes es serveixen d'una base de dades creada *a priori* per l'usuari, en la qual hom defineix un estat inicial del sistema (components gasosos, líquids i sòlids i condicions d'entorn (pH, Eh, temperatura...)) i com ha d'evolucionar aquest al llarg del temps. A partir d'aquestes dades, el programa fa un càlcul matemàtic tenint en compte les lleis de la termodinàmica i/o de la cinètica i crea un arxiu amb les dades del sistema final. Les dades es poden representar mitjançant diagrames d'evolució del sistema (concentració dels components, pH, Eh...). Cal tenir en compte que aquest tipus de programes assumeixen que el sistema és homogeni i que està en equilibri. Aquesta assumpció és irreal, però una modelització en sistemes heterogenis involucraria tants paràmetres, que la seva operativitat esdevindria molt complexa.

A la literatura recent hi ha algun exemple de modelització de silicificacions superficials al Terciari d'Austràlia (Thiry *et al.*, 1995). La modelització geoquímica quantitativa de la silicificació dels gresos de Montjuïc ha estat realitzada amb J.M. Schmitt de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, utilitzant el programa "React" (*Geochemical Workbench<sup>TM</sup>*; Bethke, 1992). Aquest programa permet simular una interacció progressiva entre una solució i una roca representada per un conjunt de minerals definits per l'usuari. Inicialment, es calcula l'estat d'equilibri entre l'aigua intersticial i la roca; a continuació, es va fent percolar la solució definida a

través de la roca. A cada pas, el programa calcula un nou estat d'equilibri i la composició de la fase líquida i de la fase sòlida.

En el cas de la modelització dels gresos de Montjuïc, no s'ha tingut en compte la cinètica i s'ha aplicat "React" segons les lleis de la termodinàmica. Aquest tipus de model és més simplificat que els models que inclouen les lleis de la cinètica, però és un sistema ràpid i efectiu de realitzar una modelització quantitativa.

#### *Composició de la roca inicial*

El conjunt de minerals que formen la roca inicial ha estat definit en funció de les característiques petrològiques generals dels gresos de Montjuïc: 50 g de quars, 15 g de feldspat potàssic, 30 g de moscovita (inclou la il·lita), 2 g de calcita, 1 g de nontronita i 0,5 g de pirita (Taula J). La nontronita és imposada per les condicions del càlcul inicial degut a la presència de pirita en el sistema. La composició química del fluid intersticial en equilibri amb la roca és definit a la Taula I. En equilibrar el fluid amb la roca s'obtenen unes condicions inicials de pH = 7,5 i de Eh = -0,2. La temperatura a la que s'ha realitzat la modelització és de 25 °C ja que la silicificació de Montjuïc és de baixa temperatura (veure apartat 9.3) i per tant s'ha escollit la temperatura de condicions estandard, a la qual s'han obtingut la majoria de dades termodinàmiques experimentals.

#### *Composició de la solució percolant*

El fluid silicificant dels gresos de Montjuïc és un fluid salí d'origen marí que ha estat acidificat per l'oxidació de pirita i/o per ferròlisi (veure apartat 9.3). Partint d'aquest fet, la solució percolant s'ha obtingut equilibrant un fluid amb la composició de l'aigua marina amb una quantitat ínfima de pirita (0,125 g), la qual ha estat definida arbitràriament. En aquestes condicions l'oxidació de la pirita disminueix el pH de la solució fins a 2,9. La composició d'aquesta solució és definida a la Taula I.

**Taula I.** Principals components químics del fluid en equilibri amb els gresos de Montjuïc i de la solució percolant en mg/l.

	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NaCl <sub>(aq)</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CO <sub>2(aq)</sub>	SiO <sub>2(aq)</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Fe <sup>+3</sup>	Fe <sup>+2</sup>	Ph	Eh
<b>Fluid inicial (mg / l)</b>	4704	5762	1268	167	1011	46,62	5,93	108	17,87	--	--	0,03	7,5	-0,2
<b>Fluid percolant (mg / l)</b>	10210	18560	0,01	989	1330	21,93	6,00	380	360	981	0,003	--	2,9	1,0

#### *Resultats de la modelització*

La modelització ha consistit en simular el pas de 100 l de solució a través de 100 g de roca (fig. 28). En el transcurs de la reacció, el pH esdevé progressivament més àcid i apareixen

diferents equilibris minerals en funció de la quantitat total de solució percolada. Les reaccions d'equilibri tamponen el pH de manera que aquest s'estabilitza durant el transcurs d'aquestes, mentre que pateix baixades brusques en el moment en que desapareix algun component mineral del sistema. Immediatament després d'una davallada del pH apareix una nova fase que torna a equilibrar el sistema i tampona el pH. D'aquesta manera el pH va disminuint fins arribar a 5 al final de la simulació.

En el moment d'iniciar la simulació el fluid percolant comença a circular a través de la roca, i el pH baixa bruscament fins a equilibrar-se amb el sistema. Aquesta baixada brusca provoca la desaparició total de la calcita i una forta disminució del feldspat potàssic per hidròlisi. Per a equilibrar el sistema, durant la infiltració dels 10 l inicials de solució, apareixen noves fases minerals imposades pel mateix programa: la dolomita per a compensar la desaparició de la calcita i la celadonita en molt petites proporcions (màxim de 1,36 g) per compensar la hidròlisi del feldspat potàssic. Respecte a la resta de minerals del sistema, la pirita disminueix progressivament ja que el fluid percolant és oxidant ( $p_e = 1$ ) i la moscovita augmenta lleugerament a l'inici de la simulació. Respecte al quars cal esmentar dues consideracions pel que fa el seu comportament:

1. La fig. 28 és un gràfic semilogarítmic respecte a la quantitat de mineral precipitat que és expressat en log (mols). Això implica que els minerals amb concentració propera a 0 log (mols) no experimenten forts canvis de pendent en variar la seva concentració. És el cas del quars, sembla molt estable, però des de l'inici de la simulació fins al final augmenta en 10,8 g (un augment del 10 %; Taula J).

2. Degut a l'elevada salinitat del sistema la solubilitat del quars i de la sílice amorfes són similars (Thiry *et al.*, 1995). S'ha utilitzat el quars perquè la solubilitat de la sílice amorfa no és controlable. Tot i així, el comportament del quars en aquesta simulació equival a la de qualsevol espècie del grup de la sílice.

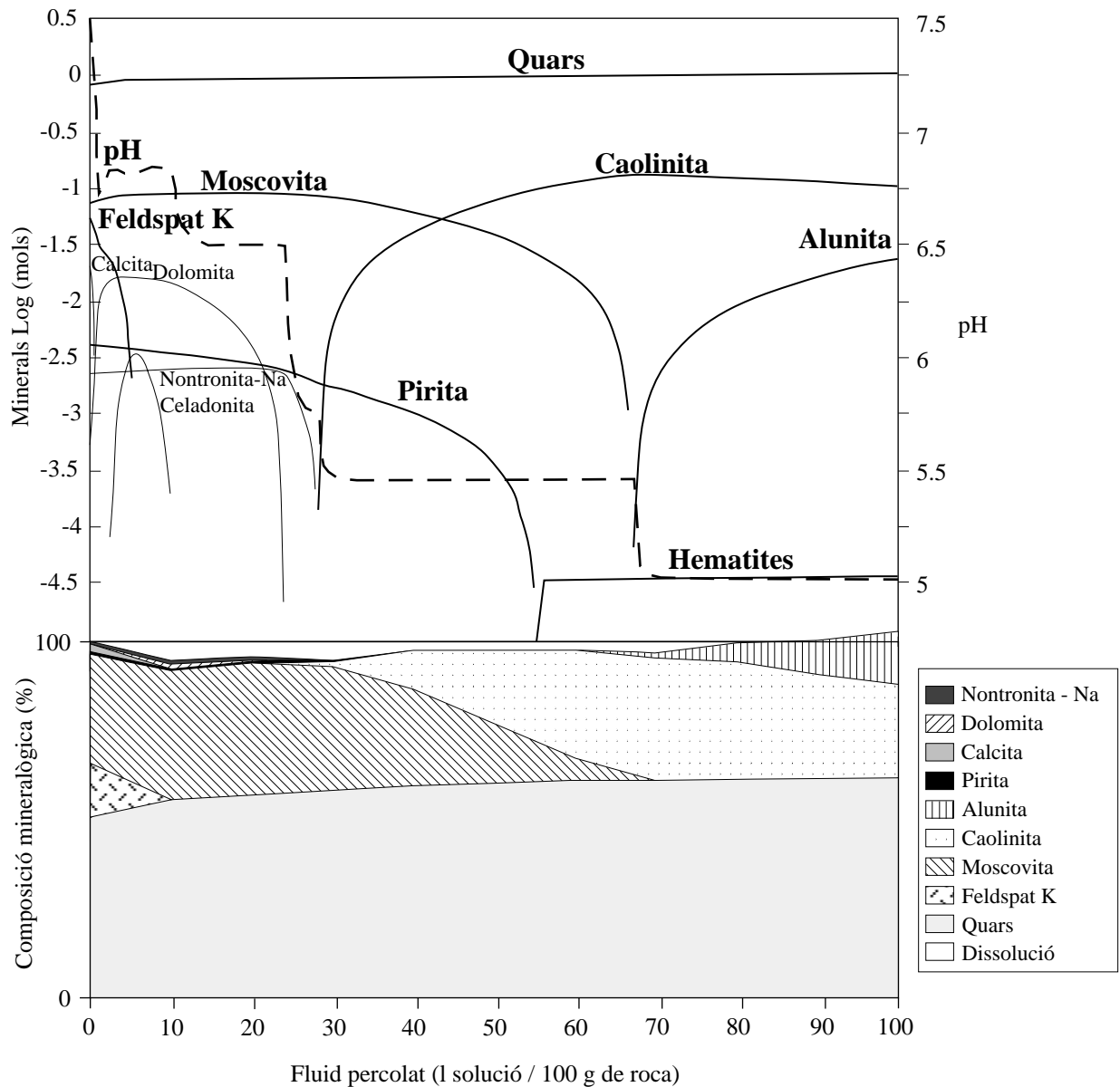
A mesura que avança la simulació van desapareixent alguns minerals del sistema inicial (feldspat potàssic i nontronita). També desapareix la dolomita, provocant una baixada brusca del pH fins a 5,5. Després d'aquesta davallada de pH apareix la caolinita, la qual provoca que la moscovita comenci a disminuir. El moment en que desapareix la moscovita ( $\approx 65$  l de solució percolats) provoca un reequilibri del sistema, amb una caiguda del pH fins a 5 i l'aparició de

l'alunita. D'altra banda, la pirita disminueix degut a l'augment del pe de la solució intersticial (degut a la infiltració de la solució percolant, que té un pe elevat) i finalment desapareix, en aquest punt és quan apareix l'hematites, quan ja han percolat 50 l de solució a través de la roca.

Finalment, quan han percolat 100 l de solució, el sistema final és format per 61 g de sílice, 26 g de caolinita, 14 g d'alunita i 0,01 g d'hematites. La neoformació d'aquestes espècies minerals sota les condicions definides compleix les lleis de la termodinàmica clàssica i és molt similar al model conceptual realitzat per a explicar la silicificació dels gresos de Montjuïc.

**Taula J.** Quantitat de mineral precipitat (grams) durant la simulació de la percolació d'un fluid d'origen marí acidificat a través dels gresos de Montjuïc.

grams	l solució / 100g roca	Inici	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<b>Quars</b> $\text{SiO}_2$		49,98	54,80	56,07	57,38	58,72	59,40	59,95	59,95	60,22	60,22	60,78
<b>Feldspat K</b> $\text{K(AlSi}_3\text{)}\text{O}_8$		15,02	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Moscovita</b> $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$		30,01	35,50	36,33	33,90	26,32	15,86	6,31	--	--	--	--
<b>Caolinita</b> $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$		--	--	--	1,52	10,76	20,51	29,64	34,03	32,50	28,97	25,82
<b>Alunita</b> $\text{KAl}_3[(\text{OH})_6/(\text{SO}_4)_2]$		--	--	--	--	--	--	--	1,18	5,28	9,61	14,54
<b>Pirita</b> $\text{FeS}_2$		0,50	0,44	0,33	0,19	0,12	0,04	--	--	--	--	--
<b>Hematites</b> $\text{Fe}_2\text{O}_3$		--	--	--	--	--	--	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>Calcita</b> $\text{CaCO}_3$		2,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Dolomita</b> $\text{Mg,Ca}(\text{CO}_3)_2$		--	1,19	0,32	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Nontronita</b> $\text{Na}_{0,3}\text{Fe}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{nH}_2\text{O}$		1,00	1,09	1,12	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Celadonita</b> $\text{K(Mg,Fe)(Fe,Al)Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$		--	0,09	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>TOTAL</b>		98,50	93,10	94,17	92,99	95,91	95,80	95,90	95,16	98,01	98,80	101,14
<b>pH</b>		7,5	6,7	6,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5	5	5	5



**fig. 28.** Successió mineral precipitada durant la simulació de la percolació d'un fluid d'origen marí acidificat a través dels gresos de Montjuïc. Pendent positiu = precipitació, pendent negatiu = dissolució i sense pendent = estabilitat.



## 10. CONCLUSIONS

---

Les principals conclusions extretes a partir d'aquest estudi es poden sintetitzar en els següents punts:

1. La sèrie general de la muntanya de Montjuïc es pot dividir en cinc unitats litostratigràfiques: (1) Unitat de gresos i conglomerats del Morrot, (2) Unitat de margues del Far, (3) Unitat de lutites, gresos i conglomerats del Castell, (4) Unitat de margues de Miramar i (5) Unitat de lutites, gresos i conglomerats del Mirador.

2. Els sediments terciaris de Montjuïc són d'origen deltaic i, en general, són constituïts per dipòsits de prodelta (margues amb foraminífers planctònics), dipòsits de front deltaic (lutites, gresos i conglomerats organitzats en cicles grano i estratocreixents) i dipòsits de plana deltaica (gresos i conglomerats massius organitzats en capes granodecreixents amb base erosiva). La sèrie s'organitza en tres seqüències deposicionals de tercer ordre.

3. Segons l'associació de foraminífers planctònics, els dipòsits de la muntanya de Montjuïc pertanyerien a l'estatge Serraval·lià (11.2 Ma - 14.8 Ma).

4. Els gresos i conglomerats de Montjuïc són principalment litarenites, litorudites i grauvaques lítiques formades per quars, fragments de roca plutònics i metamòrfics i feldspat potàssic. A les unitats superiors apareix també plagiòclasi (Unitats del Castell i del Mirador). Cal remarcar l'existència de fragments intraformacionals preferentment associats al límit entre la primera i la segona seqüència deposicional.

5. L'àrea font dels components detrítics és el massís de Collserola, on els materials paleozoics afloren àmpliament. Concretament, l'àrea de Tibidabo - Vallvidrera, on apareixen totes les litologies representades als fragments de roca dels gresos de Montjuïc.

6. La baixa relació Plagiòclasi/Feldspat potàssic en els components detrítics dels gresos de Montjuïc en relació a l'àrea font seria indicativa un clima humit. Sota aquest clima els feldspats (sobretot les plagiòclasis) foren hidrolitzats, fet que comportaria el desenvolupament d'un perfil de meteorització.

7. El desmantellament de la cobertura mesozoica del massís de Collserola esdevingué entre el Serraval·lià i el Burdigalià, ja que a Montjuïc no s'han trobat fragments de roca carbonàtics del Mesozoic, mentre que els gresos del Burdigalià de Rubí contenen molts d'aquests fragments derivats de l'erosió del Mesozoic del massís de Collserola. Aquest fet s'adiu amb l'estadi de post-rift donat per als sediments serraval·lians dins del context d'evolució tectono-sedimentària del marge català del Solc de València.

8. Segons les diferents associacions de minerals autigènics dels gresos de Montjuïc, s'han definit sis microfàcies diagenètiques diferents que es poden dividir, a grans trets, en microfàcies silicificades i no silicificades.

9. Els termes utilitzats per a l'explotació dels gresos de Montjuïc (blanquet i rebuig), tenen una estreta relació amb els diferents processos diagenètics observats. El rebuig equival essencialment a les microfàcies no silicificades, mentre que el blanquet engloba tots aquells gresos silicificats, sobretot aquells en que el principal producte autigènic és el quarz.

10. La formació de minerals autigènics, especialment del grup de la sílice (silicificació), ha estat un procés essencial en la litificació dels gresos de Montjuïc. Als gresos, la cimentació primerenca involucra la transformació de la matriu lutítica a òpal i microquars i la precipitació de sobrecreixements de feldspat potàssic i quarz. A les fractures precipita baritina i, a continuació, òpal i calcedònia.

11. Els principals factors per dur a terme la silicificació han estat una forta disminució del pH, la salinitat del medi (probablement deguda a fluids d'origen marí) i la presència de



nuclis de creixement cristal·lí preexistents en els gresos (nucleació heterogènia). La temperatura ha tingut poca incidència com a motor del procés de silicificació. Les àrees de la muntanya no silicificades estarien relacionades amb zones de baixa percolació de fluids, ja sigui pel fet de ser fàcies poc permeables o per altres factors (com, per exemple, el tamponament del pH per presència de carbonats).

12. La silicificació de les formacions de Montjuïc és superficial i produïda sota l'efecte de circulacions de mantell freàtic. Cal remarcar que l'autigènesi de sobrecreixements de quars, feldspats potàssics i caolinites recorden cimentacions pròpies de diagènesis més profundes o lligades a reservoris petrolers. La potència de les silicificacions també és remarcable, amb nivells silicificats de diverses desenes de metres d'espessor, més pròpies de diagènesis d'enfonsament que de silicificacions superficials. La natura i la potència d'aquestes silicificacions són, doncs, motiu de prudència en la interpretació de les formacions silicificades fòssils.



## 11. BIBLIOGRAFIA

---

- Almera, J.**, 1880. De Montjuich al Papiol a través de las épocas géologiques. Mem. R. Acad. CC. y AA. Barcelona, 5-53.
- Almera, J.**, 1894. Descripción de los terrenos pliocénicos de la cuenca del Bajo Llobregat y llano de Barcelona. Mapa Geol. Prov. Barcelona. 351p.
- Almera, J.**, 1898. Compte rendu de l'excursion du 28 septembre a Sans et a Montjuich. Bull. Soc. Géol. France, 26, 680-689.
- Alonso, F., Peón, A., Villanueva, O., Rosell, J., Trilla, J. i Obrador, A.**, 1977. Mapa y memoria explicativa de la Hoja nº 421 (Barcelona) del Mapa geológico Nacional a escala 1:50.000, IGME.
- Álvarez, A.**, 1987. Las canteras de Montjuic (Barcelona) (I). Rev. Miner. Cat., 3 (9), 238-242.
- Álvarez, A.**, 1988. Las canteras de Montjuic (Barcelona) (II). Rev. Miner. Cat., 4 (1), 22-25.
- Álvaro-de-Buergo, E. i Meléndez-Hévia, F.**, 1994. Características generales de las subcuencas del margen peninsular mediterráneo ("Rift" del Surco de Valencia). Acta Geol. Hisp., 29, 67-79.
- Arbey, F.**, 1980. Les formes de la silice et l'identification des évaporites dans les formations silicifiées. Bull. Cent. Rech. Explor. Elf-Aquitaine, 4, 309-365.
- Bjørlykke, K. i Egeberg, P.K.**, 1993. Quartz cementation in sedimentary basins. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 77 (9), 1538-1548.
- Banda, E. i Santanach, P.**, 1992a. The Valencia trough (western Mediterranean): an overview. Tectonophysics, 208, 183-202.

- Banda, E. i Santanach, P. eds.,** 1992b. Geology and geophysics of the Valencia trough (western Mediterranean). *Tectonophysics*, 203, 1-361.
- Bartrina, M.T., Cabrera, L., Jurado, M.J., Guimerà, J. i Roca, E.,** 1992. Evolution of the central Catalan margin of the Valencia trough (western Mediterranean). *Tectonophysics*, 203, 219-247.
- Basu, A.,** 1976. Petrology of holocene fluvial sand derived from plutonic source rocks; implications to paleoclimatic interpretation. *Jour. Sed. Petrol.*, 46 (3), 694-709.
- Berggren, W.A., Dennis, K.V., Swisher III, C.C. i Aubry, M.P.,** 1995. A revised cenozoic geochronology and chronostratigraphy. En *Times Scales and Global Strat. Corr. SEPM Spec. Pub*, 54, 129-212.
- Bethke, G.,** 1992. The Geochemist's Workbench. A user's guide to Rxn, Act 2, Tact, React and Gtplot, University of Illinois, 174 p.
- Blow, W.H.,** 1969. Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. En P. Bronnimann i H.H. Renz (eds.). *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils (Geneva 1967)*, 199-421, Leiden E. J. Brill.
- Bolli, H.M. i Saunders J.B.,** 1985. Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera. En H. M. Bolli, J.B. Saunders, i K. Perch-Nielsen (eds.). *Plankton stratigraphy*, 155-262, Cambridge Earth Science Series.
- Bustillo, M.A.,** 1976. Texturas de la rocas silíceas inorgánicas en ambiente continental y significado genético. *Estudios geol.*, 32, 371-383.
- Bustillo, M.A., Delgado, A., Rey, J. i Ruiz-Ortiz, P.A.,** 1998. Meteoric water participation in the genesis of Jurassic cherts in the Subbetic of southern Spain - a significant indicator of penecontemporaneous emergence. *Sedim. geol.*, 119, 85-102.
- Cabrera, L.,** 1973. *Thegioastraea multisepta* (SISMONDA) Primer coralarío colonial del mioceno marino de Montjuich (Barcelona). *Acta Geol. Hisp.*, 8, 148-150.
- Canals, M. i Meunier, J.D.,** 1995. A model for porosity reduction in quartzite reservoirs by quartz cementation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59 (4), 699-702.
- Carez, L.** 1881. Étude des terrains crétacés et tertiaires du Nord de l'Espagne. Paris, ed. Librairie F. Savy, 327p.
- Chanley, H.,** 1989. *Clay sedimentology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 623p.

- Colom, G. i Bauzá, J.**, 1945. Notas sobre los foraminíferos de las margas Miocénicas de Montjuich. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 43, 483-500.
- De Ros, L.F., Morad, S. and Paim, P.S.G.**, 1994. The role of detrital composition and climate on the diagenetic evolution of continental molasses: evidence from the Cambro-Ordovician Guaritas Sequence, southern Brazil. Sedim. Geol., 92, 197-228.
- Delmas, A. B. Garcia-Hernandez, J. F. i Pedro, G.**, 1982. Discussion sur les conditions et les mécanismes de formation du quartz à 25°C en milieu ouvert. Analyse réactionnelle par voie cinétique. Sci. Géol., Bull., 35 (1-2), 81-91.
- Dickinson, W.R.**, 1970. Interpreting detrital modes of grauwacke and arkose. Jour. Sed. Petrol., 40, 695-707.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Linaberg, F.A. i Ryberg, P.T.**, 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Geol. Soc. Am. Bull., 94, 222-235.
- Dott, R.H.Jr.**, 1964. Wacke Graywacke and matrix-What approach to immature sandstone classification?. Jour. Sed. Petrol., 34, 625-632.
- Duran, H., Gil Ibarguchi, J.I., Julivert, M. i Ubach, J.** 1984. Early Paleozoic acid volcanism in the Catalanian Coastal Ranges (Northwestern Mediterranean). En F.P. Sassi i M. Julivert (eds.). Project IGCP nº5, Newsletter 6, 33-43.
- Enrique, P.** 1990. The Hercynian intrusive rocks of the Catalanian Coastal Ranges (NE Spain). Acta Geol. Hisp., 25, 39-64.
- Faura y Sans, M.**, 1908. Adicions á la fauna miocénica de Montjuic. Butll. Inst. Catal. Hist. Nat., Sec. Geol., 5, 55-60.
- Faura y Sans, M.**, 1917. Montjuich Notas geológicas. Publ. Soc. Atrac. For., Barcelona, 5-55.
- Ferguson, J., Burne, R.V. i Chambers, L.A.**, 1983. Iron mineralisation of peritidal carbonate sediments by continental groundwaters, Fisherman bay, south Australia. Sedim. geol., 34, 41-57.
- Flörke, O.W., Flörke, U. i Giese, U.**, 1984. Moganite. A new microcrystalline Silica-Mineral. Neues Jahrbuch Miner. Abh., 149, 325-336.

- Folk, R.L.**, 1965. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's Bookstore. Austin. 170p.
- Folk, R.L. i Pittman, J.S.**, 1971. Length-slow chalcedony: A new testament for vanished evaporites. *Jour. Sed. Petrol.*, 41 (4), 1045-1058.
- Fontboté, J.M., Guimerà, J., Roca, E., Sabat, F., Santanach, P. i Fernández-Ortigosa, F.**, 1990. The Cenozoic geodynamic evolution of the Valencia Trough (Western Mediterranean). *Rev. Soc. Geol. Esp.*, 3, 249-259.
- Gazzi, P.**, 1966. Le arenarie del flysh sopracretaceo dell'Apenino modenese; correlazioni con il flysh Monghidoro. *Miner. Petro. Acta*, 12, 69-97.
- Gil Ibarguchi, J.I. i Julivert, M.**, 1988. Petrología de la aureola metamórfica de la granodiorita de Barcelona en la Sierra de Collserola (Tibidabo). *Estudios Geol.*, 44, 353-374.
- Goldbery, R.**, 1978. Early diagenetic, nonhydrothermal Na-alunite in Jurassic flint clays, Makhtesh Ramon, Israel. *G.S.A. Bull.*, 89, 687-698.
- Goldbery, R.**, 1980. Early diagenetic, Na-alunites in Miocene algal mat intertidal facies, Ras Sudar, Sinai. *Sedimentology*, 27, 189-198.
- Goldich, S.S.**, 1938. A study in rock-weathering. *Jour. Geol.*, 46, 17-23.
- Gómez-Gras, D., Calvet, F. i Parcerisa, D.**, 1998. Extensive early diagenetic silica cementation in the upper Miocene deltaic sandstones on the margin of the Barcelona half-graben, Spain. En J.C. Cañaveras, M.A. García del Cura i J. Soria (eds.). XV International Sedimentological Congress, Libro de comunicaciones (Sedimentology at the dawn of the third millennium. 390-391, Alicante, Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. i Vail, P.R.**, 1988. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. En C. K. Wilgus et al. (eds.). Sea-level change: an integrated approach: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 42, 71-108.
- Haszeldine, R.S., Samson, I.M. i Cornford, C.**, 1984. Quartz diagenesis and convective fluid movement: Beatrice oilfield, UK North Sea. *Clay Miner.*, 19, 391-402.
- Hendry, J.P. i Tewin, N.H.**, 1995. Authigenic quartz microfabrics in cretaceous turbidites: Evidence for silica transformation processes in sandstones. *Jour. Sed. Res.*, A65 (2), 380-392.

- Housecknecht, D.W.**, 1987. Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 71, 633-642.
- Iler, R.K.**, 1979. The chemistry of silica: solubility, polymerization, colloid and surface properties and biochemistry. Wilwy, New York. 866p.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D. i Sores, S.W.**, 1984. The effects of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Jour. Sed. Petrol.*, 54, 103-116.
- Julivert, M. i Durán, H.**, 1990. Paleozoic stratigraphy of the Central and Northern part of the Catalanian Coastal Ranges (NE Spain). *Acta Geol. Hisp.*, 25, 3-12.
- Kastner, M. i Siever, R.**, 1979. Low temperature feldspars in sedimentary rocks. *Amer. Jour. Sci.*, 279, 435-479.
- Khalaf, F.I.**, 1988. Petrography and diagenesis of silcrete from kuwait, Arabian Gulf. *Jour. Sed. Petrol.*, 58 (6), 1014-1022.
- La Marmora, A.**, 1834. Note géologique sur la montagne de Mont-Jouy, près de Barcelona. *Bull. Soc. Géol. France*, 4, 351.
- Limarino, C.O. i Caselli, A.**, 1995. Cherts (ftanitas) y niveles de silicificación en la sección superior del grupo Paganzo (Pérmico), noroeste argentino. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, 2, 37-56.
- Llopis, N.**, 1942a. Tectomorfología del macizo del Tibidabo y valle inferior del Llobregat. *Estudios Geogr.*, 3, 321-383.
- Llopis, N.**, 1942b. Los terrenos cuaternarios del llano de Barcelona. *Publ. Inst. Geol.-Top. Dip. Prov. Barcelona*, 6, 1-52.
- Magné, J.**, 1978. Etudes microstratigraphiques sur le néogène de la Méditerranée Nord-Occidentale. Les bassins néogènes catalans. Tesis doctoral. Université Paul Sabatier, Toulouse, 260 p.
- Mann, A.W.**, 1983. Hydrochemistry and weathering on the Yilgarn Block, Western Australia: Ferrolysis and heavy metals in continental brines. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 181-190.
- Marfil, R. i De la Peña, J.A.**, 1992. Diagenesis: rocas siliciclásticas y rocas carbonáticas. En A. Arche (Coord.), *Sedimentologia Volumen II*, 345-430, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

- Marshall, W. L. i Warakowski, J. J.**, 1980. Amorphous silica solubilities. II-Effects of aqueous salt solutions at 25°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 915-924.
- Maureta, J. i Thos, S.**, 1881. Descripción física, geológica y minera de la provincia de Barcelona. *Mem. Com. Mapa Geol. Esp.*, IX, 487.
- M<sup>c</sup>Arthur J. M., Turner, J. V., Lyons, W. B., Osborn, A. O. i Thirlwall, M.F.**, 1991. Hydrochemistry on the Yilgarn Block, Western Australia: Ferrolisis and mineralisation in acidic brines. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 1273-1288.
- M<sup>c</sup>Bride, E.F.**, 1985. Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone. En G. G. Zuffa (ed.). *Provenance of arenites*. NATO-ASI Ser. C, 148, 95-113, D. Reidel, Dordrecht.
- Medialdea Vega, J. i Solé Sabaris, LL.**, 1973. Mapa Geológico de España. E. 1:50000, nº 420, Hospitalet de Llobregat. IGME, Madrid, Serv. Publ. Ministerio Industria, 55 p., 1 map.
- Meyer, R. i Pena dos Reis, R.B.**, 1985. Paleosols and alunite silcretes in continental cenozoic of western Portugal. *Jour. Sed. Petrol.*, 55 (1), 76-85.
- Millot, G.**, 1964. Géologie des argiles. Masson, Paris, 499p.
- Milnes, A.R., Fitzpatrick, R.W., Self, P.G., Fordham, A.W. i M<sup>c</sup>Clure, S.G.**, 1992. Natural iron precipitates in a mine retention pond near Jabiru, Northern Territory, Australia. En H.G.W. Skinner i R.W. Fitzpatrick (eds.). *Biominalization. Processes of iron and manganese -Modern and Ancient environments*. 233-261. *Catena supplement* 21.
- Molina, E., García, G. i Vicente, M.A.**, 1997. Estudio de perfiles silicificados en el borde de la cuenca terciaria del Duero. Una nueva interpretación genética de la silicificación. *Rev. Soc. Geol. España*, 10 (3-4), 327-338.
- Morad, S., Marfil, R. i De la Peña, J.A.**, 1989. Diagenetic K-feldspar pseudomorphs in the Triassic Buntsandstein sandstones of the Iberian Range, Spain. *Sedimentology*, 36, 635-650.
- Murray, R.C.**, 1990. Diagenetic silica stratification in a paleosilcrete, north Texas. *Jour. Sed. Petrol.*, 60 (5), 717-720.
- Nemec, W. i Steel, R.J.**, 1988. What is a fan delta and how do we recognize it?. En W. Nemec i R.J. Steel (eds.). *Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Settings*. Blackie and Son.
- Nordstrom, D.K. i Munoz, J.L.**, 1986. *Geochemical thermodynamics*. Blackwell Scientific Publications, UK. 475p.



- Person, M. i Garven, G.,** 1994. A sensitivity study of the driving forces on fluid flow during continental-rift basin evolution. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 106, 461-475.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. i Siever, R.,** 1973. Sand and sandstones. Springer-Verlag, New York-Heidelberg-Berlin. 618p.
- Rayot, V.,** 1994. Altérations du centre de l'Australie: rôle des solutions salines dans la genèse des silcrètes et des profils blanchis. *ENSMP Mém. Sc. De la Terre*, 22, 142 p.
- Rayot, V., Self, P. i Thiry, M.,** 1992. Transition of clay minerals to opal-CT during ground-water silicification. En J. M. Schmitt i Q. Gall (eds.). *Mineralogical and geochemical records of palaeoweathering*, ENSMP Mém. Sc. De la Terre, 18, p. 47-59.
- Roca, E.,** 1994. La evolución geodinámica de la Cuenca Catalano-Balear y áreas adyacentes desde el Mesozoico hasta la actualidad. *Acta Geol. Hisp.*, 29, 3-25.
- Roca, E. i Guimerà, J.,** 1992. The Neogene structure of the eastern Iberian margin: structural constraints on the crustal evolution of the Valencia trough (western Mediterranean). *Tectonophysics*, 203, 203-218.
- Roca, J.L. i Casas, A.,** 1981. Gravimetria en zona urbana. Mapa gravimétrico de la ciudad de Barcelona.
- Roulin, F., Boudeulle, M. i Truc, G.,** 1986. Transformation argile-opale dans les silcrètes Éocènes du bassin d'Apt (Vaucluse). *Bull. Miner.*, 109, 349-357.
- Saavedra, J. i Sanchez Camazano, M.,** 1981. Origen de niveles continentales silicificados con alunita en el Preluteciense de Salamanca España. *Clay Minerals*, 16, 163-171.
- San Miguel de la Cámara, M.,** 1912. Datos para la Estratigrafía de Montjuic. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 12, 311-314.
- San Miguel de la Cámara, M.,** 1929. Las pizarras cristalinas de silicato cálcico de la zona metamórfica del Tibidabo. *Mem. R. Acad. CC. y AA. Barcelona*, 31, n°XXI, 513-530.
- San Miguel de la Cámara, M., Sierra, A., Marcet Riba, J. i Cerero, R.,** 1928. Memoria explicativa de la Hoja nº 421. Barcelona. Diputación Provincial de Barcelona. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 84p.
- San Miguel, A. i Masriera, A.,** 1970. Contribución al estudio Petrológico de los niveles de areniscas de Montjuic (Barcelona). *Publ. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov.*, 24, 11-34.


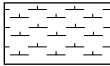
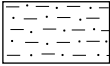

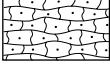

















- Sans, M., Roca, E., Cabrera, Ll. i Marzo, M.,** 1998. Geometric analysis of the Barcelona Graben infill: Constraints on the cenozoic evolution of the Catalan margin (western Mediterranean). En J.C. Cañaveras, M.A. García del Cura i J. Soria (eds.). XV International Sedimentological Congress, Libro de comunicaciones (Sedimentology at the dawn of the third millennium. 695, Alicante, Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Sanz de Siria, A.,** 1994. La evolución de las paleofloras en las cuencas cenozoicas catalanas. *Acta Geol. Hisp.*, 29, 169-189.
- Schmidt, V. i M<sup>c</sup>Donald, D.A.,** 1979. The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. *E.E.M.P., Special Pub.*, 26, 175-207.
- Smykatz-Kloss, W. i Joachim, H.,** 1990. Kaolin and silica minerals of south african silcretes. *Chem. Geol.*, 84, 128-129.
- Solé Sabarís, Ll.,** 1963. Ensayo de interpretación del Cuaternario barcelonés. *Miscellanea Barcinonensia*, 3, 7-54.
- Summerfield, M.A.,** 1983. Petrography and diagenesis of silcrete from the Kalahari basin and Cape Coastal zone, southern Africa. *Jour., Sed., Petrol.*, 53 (3), 895-909.
- Thiry, M.,** 1997. Continental silicifications: a review. En H. Paquet i N. Clauer (eds.). *Soils and sediments, Mineralogy and Geochemistry*. 191-221. Springer-Verlag.
- Thiry M.,** 1999. Diversity of continental silicification features: Examples from the Cenozoic deposits in the Paris Basin and neighbouring basement. En M. Thiry i R. Simon-Coinçon (eds.). *Palaeoweathering, palaeosurfaces and related continental deposits. Spec. Publ. Intern. Ass. Sediment.*, 27, 87-128.
- Thiry, M. i Ben Brahim, M.,** 1997. Silicifications de nappe dans les formations carbonatées tertiaires du piedmont atlasique (Hamada du Guir, Maroc). *Geodinamica acta (Paris)*, 10 (1), 12-29.
- Thiry, M. i Millot, G.,** 1986. Mineralogical forms of silica and their sequence of formation in silcretes. *Jour. Sed. Petrol.*, 57 (2), 343-352.
- Thiry, M. i Milnes, A.R.,** 1991. Pedogenic and groundwater silcretes al Stuart Creeck Opal Field, South Australia. *Jour. Sed. Petrol.*, 61, 111-127.
- Thiry, M. i Ribet, I.,** 1999. Groundwater silicification in Paris Basin limestones: Fabrics, mechanisms, and modeling. *Jour. Sed. Petrol.*, 69 (1), 183-195.

- Thiry, M., Schmitt, J.M., Rayot, V. i Milnes, A.R.,** 1995. Géochimie des altérations des profils blanchis du régolithe tertiaire de l'intérieur de l'Australie. CR. Acad. Sci. Paris, 320 (IIa), 279-285.
- Van der Lee, J. i Windt, L. de,** 1999. CHESS Tutorial and Cookbook. Updated for version 2.4. Technical report LHM/RD/99/5. École des Mines de Paris. Centre d'Informatique Géologique. Fontainebleau. France. 77 p.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M. i Rahmanian, V.D.,** 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops. AAPG Methods in Exploration series, 7, 55.
- Vaquer, R.,** 1973. El metamorfismo y las rocas plutónicas y filonianas de la Sierra de Collcerola (Tibidabo), Barcelona. Tesis Doctoral, Dpt. de Petrología, Universitat de Barcelona, 362 p.
- Vía, L. i Padreny, J.,** 1972. Historia bibliografica sobre geología de Montjuic (Barcelona). Publ. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov., 27, 5-63.
- Vicente, J.,** 1988. La flora fòssil de Montjuïc (Barcelona). Soc. Hist. Nat., Sèrie Monogràfica nº 1., Sta Coloma de Gramenet. 93p.
- Villalta, J.F. de i Rosell, J.,** 1965. Contribución al conocimiento de la estratigrafía de Montjuic. Publ. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov., 19, 83-104.
- Wollast, R.,** 1967. Kinetics of the alteration of K-feldspar in buffered solutions at low temperature. Geochim. Cosmochim. Acta, 31, 635-648.
- Zuffa, G.G.,** 1985. Optical analyses of sandstones: influence of methodology on compositional results. En G. G. Zuffa (ed.). Provenance of arenites. NATO-ASI Ser. C, 148, 165-189, D. Reidel, Dordrecht.

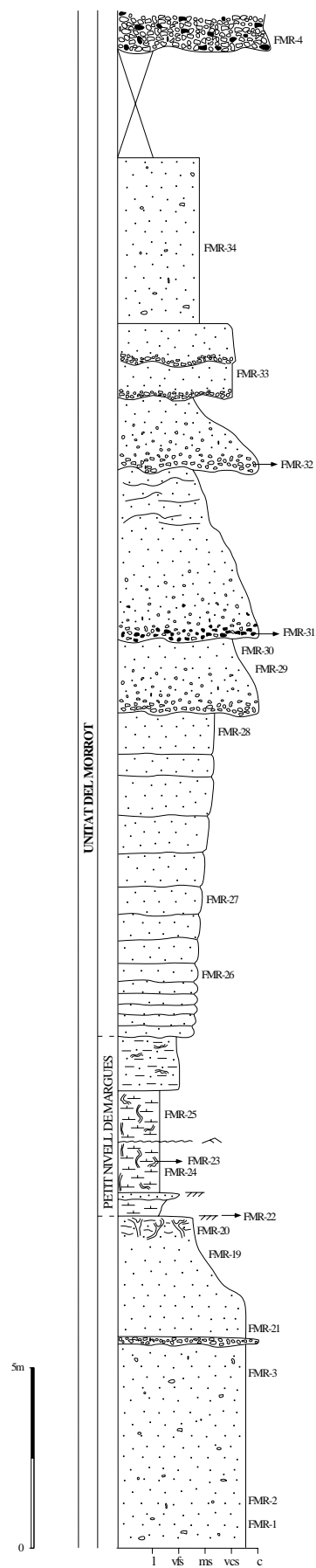
## **ANNEX I. SECCIONS ESTRATIGRÀFIQUES**

---

# Llegenda de les seccions estratigràfiques

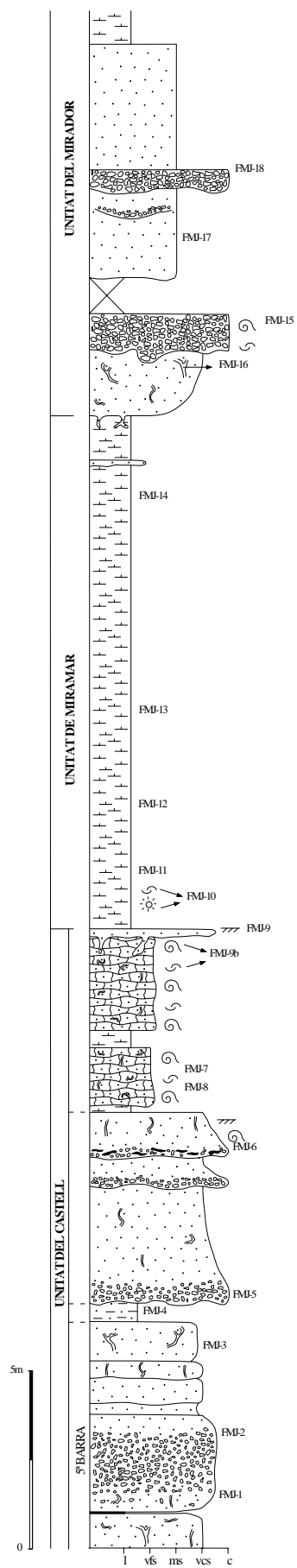
	argiles		margues
	llims		gresos
	calcarenites		conglomerats
	cobert		estratificació encruada
	ripples		laminació planar
	laminació hummocky		crosta ferruginosa
	còdols intraformacionals		còdols tous
	bioturbació		fractures amb guix
	nòduls de cimentació		restes vegetals
	gasteròpodes		bivalves
	equinoderms		rodolits
l	mida argila	vfs	mida sorra fina
ms	mida sorra mitja	vcs	mida sorra granuda
c	mida conglomerat	- - - -	principals línies de capa
— — — —	límits entre unitats litostratigràfiques		

## SECCIÓ DE RIVIERE





## SECCIÓ DEL JARDÍ DE CACTUS







## **ANNEX II. FOTOGRAFIES**

---

## LÀMINA I

A. Vista de la Unitat del Morrot a la paret de Riviere. Destaca la cimentació diferencial d'aquesta unitat. Mentre que algunes zones de la muntanya estan fortament silicificades i presenten un aspecte massís i fracturat, d'altres zones de color ocre i blanc estan feblement cimentades. La línia discontinua limita la zona silicificada i ben cimentada (a la part inferior) de la zona no silicificada i poc cimentada (a la part superior).

B. Detall d'una capa conglomeràtica amb base erosiva i còdols intraformacionals silicificats. La foto ha estat tirada a la a la paret de Riviere i correspon a la part superior de la Unitat del Morrot.

C. Vista general de la muntanya de Montjuïc des del port de Barcelona. En primer terme destaquen la Ronda Litoral i el Far de Montjuïc. Al cim es troba el Castell de Montjuïc. Es poden observar les unitats del Morrot, del Far i del Castell.

D. Vista general de la muntanya de Montjuïc des del port de Barcelona. Al peu de la muntanya hi ha els jardins Costa i Llobera. Per damunt dels jardins es pot observar la part superior de la Unitat del Castell, la Unitat de Miramar i la Unitat del Mirador.



## **LÀMINA II**

A. Diferents tipus de cimentació a la Unitat del Morrot. En primer terme hi ha gresos de color vermellós, massius i intensament silicificats. En segon terme apareixen gresos ocres sense cimentar o cimentats per nòduls carbonàtics (part superior de la foto).

B. Detall de la cimentació carbonàtica en nòduls i petites capes a la part superior de la Unitat del Morrot.

C. Vista general del Massís de Collserola des de Montjuïc. Aquesta zona actuà com a àrea font dels components detrítics dels gresos i conglomerats miocens de Montjuïc.



### LÀMINA III

A. Aspecte general dels gresos de Montjuïc al microscopi petrogràfic. A part dels fragments de quars i feldspat potàssic, es poden observar fragments de roca plutònica (fletxa negra) i metamòrfica (fletxes blanques). Nícols encreuats. Mostra FMP - 12. Escala 0,9 mm.

B. Detall de bioclasts (foraminífers) dels gresos de la part superior de la Unitat del Castell. Nícols paral·lels. Mostra FMJ - 9. Escala 0,5 mm.

C. Detall de l'alteració diferencial del feldspat potàssic. En una mateixa làmina apareixen feldspats totalment frescs (fletxes negres) al costat de feldspats alterats (fletxes blanques). Nícols encreuats. Mostra FMR - 14. Escala 0,7 mm.

D. Làmina prima dels gresos de la Unitat del Morrot on s'evidencia la mala selecció d'aquesta unitat. També es pot veure un fragment de chert (fletxa blanca) i un fragment plutònic amb les plagiòclasis totalment dissoltes (fletxes negres). Nícols encreuats. Mostra FMR - 18. Escala 0,9 mm.

E. Detall de bioclasts (mol·luscs) dels gresos amb matriu micrítica (colors foscos) de la part superior de la Unitat del Castell. Nícols paral·lels. Mostra FMJ - 9. Escala 0,9 mm.

F. Pas d'un gres silicificat amb matriu siliciclàstica que correspon a un *burrow* (esquerra) a un gres silicificat sense matriu i cimentat per sobrecreixements. Nícols encreuats. Mostra FMM - 33. Escala 0,9 mm.





## LÀMINA IV

A. Aspecte general dels diferents tipus de sobrecreixements autigènics dels gresos de Montjuïc. Assenyalats per una fletxa negra es veuen dos sobrecreixements de quars, a l'esquerra en un fragment policristal·lí i a la dreta en un fragment monocristal·lí. La fletxa blanca assenyala un sobrecreixement de feldspat potàssic. Nícols encreuats. Mostra FMR - 17. Escala 0,5 mm.

B. Aspecte de la matriu argilosa d'un gres transformada a òpal (coloracions marronoses). Nícols paral·lels. Mostra FMM - 31. Escala 0,7 mm.

C. Detall del sobrecreixement irregular d'un gra de quars (fletxes negres) dins un gres amb la matriu transformada a microquars. El contorn del gra és marcat per diminutes inclusions fluides. Nícols encreuats. Mostra FMM - 1. Escala 0,4 mm.

D. Sobrecreixements de feldspat potàssic (fletxes negres) en grans de feldspat (aspecte brut). El ciment fibrós de calcedònia està associat a una fractura adjacent al gres fotografiat. Nícols encreuats. Mostra FMP - 2. Escala 0,5 mm.

E. Gres de la part superior de la Unitat del Morrot cimentat per calcita (tinció vermella) Nícols paral·lels. Mostra FMM - 12. Escala 0,5 mm.

F. Precipitació d'hematites en petites motes opaques dins un gres amb la matriu argilosa transformada a òpal. L'hematites apareix també acumulada a la foliació d'un fragment metamòrfic (fletxes negres). Nícols paral·lels. Mostra FMM - 30. Escala 0,7 mm.



## LÀMINA V

A. Detall de dos pseudomorfs de biotita totalment dissolta amb precipitació de sílice, alunita i òxids de titani a la porositat mòldica (fletxes negres). Nícols paral·lels. Mostra FMR - 27. Escala 0,5 mm.

B. Precipitació de quars en fractura pseudomorfitzant sulfats. Es poden observar alguns prismes de baritina (fletxa negra). Nícols encreuats. Mostra FMP - 9. Escala 0,5 mm.

C. Detall de la precipitació d'òxids de ferro (opacs), baritina (fletxes blanques) i òpal (esferulites) en una fractura. La baritina és parcialment reemplaçada per calcedònia (fletxes negres). Nícols paral·lels. Mostra FMP - 10. Escala 0,5 mm.

D. Diferents tipus de calcedònia associada a fractures. A la part superior de la foto hi ha grans esferulites de calcedonita (elongació negativa) i, per sota, apareix la calcedònia en taulell d'escacs (doble elongació). Nícols encreuats i compensador de  $\lambda$ . Mostra FMP - 4. Escala 0,9 mm.

E. Ciments de baritina (fletxes blanques) i de lussatita (fletxes negres) en un gres adjacent a una fractura. Nícols paral·lels. Mostra FMP - 2. Escala 0,5 mm.

F. Cimentació de les bretxes de reompliment de les diàclasis amb precipitació d'òpal a la base del porus i de calcedònia al centre (incolora). L'òpal és indicador de geotropisme. Nícols paral·lels. Mostra FMP - 1. Escala 0,7 mm.



## LÀMINA VI

A. Intraclast silicificat en un gres pobrament seleccionat de la Unitat del Morrot. L'aspecte marró de la matriu és degut a la seva transformació a òpal. Nícols paral·lels. Mostra FMR - 6. Escala 0,9 mm.

B. Pseudomorfs de pirita transformats a òxids de ferro (Unitat del Far). Nícols paral·lels. Mostra FMM - 15. Escala 0,4 mm.

C. Fotografia d'una mostra de gres mig - groller de la Unitat del Castell amb grans de quars, feldspat potàssic i fragments de roca. Noteu la bona selecció i cimentació. Nícols encreuats. Mostra FMJ - 1. Escala 0,9 mm.

D. Vena amb fibres d'alunita (color marró), òpal i caolinita (incolors) autigènics. Cal remarcar la presència de grans de quars esclatats degut al creixement de les fibres. Nícols paral·lels. Mostra FMM - 31. Escala 0,5 mm.

E. Bivalve silicificat de la part superior de la Unitat del Morrot. La part extingida és porositat de dissolució del bioclast. La resta ha estat reemplaçada per quars amb preservació de l'estructura original. Nícols encreuats. Mostra Far - 1. Escala 0,7 mm.

F. Ciment de quars intergranular (fletxes blanques) pseudomorfitzant un ciment de sulfats previ. Nícols encreuats. Mostra FMM - 26. Escala 0,4 mm.



## LÀMINA VII

A. Aspecte dels sobrecreixements de quars al microscopi electrònic. Notar el desenvolupament de cares cristal·lines (fletxes blanques). Envoltant els grans de quars hi ha matriu siliciclàstica formada per argiles, quars i feldspat. Mostra FMM - 21.

B. Ciment intergranular de mesoquars i d'òxids de ferro (fletxa blanca). Mostra FMR - 27.

C. Sobrecreixement idiomòrfic de feldspat potàssic (fletxa negra) en un gres adjacent a una fractura. També es pot observar ciment intergranular d'òpal i de calcedònia (fletxa blanca). Mostra FMP - 2.

D. Ciment microcristal·lí de feldspat potàssic dins el motlles d'un bivalve dissolt. Mostra Far - 1.

E. Ciment intergranular d'hematites en motes. Mostra Far - 1.

F. Ciment intergranular d'alunita (fletxes negres) formant diminuts cubs (notar l'escala) entre la matriu d'un gres. Mostra FMM - 31.





## LÀMINA VIII

A. Ciment de calcedònia reomplint la porositat d'un gres adjacent a una fractura. La calcedònia forma una crosta isopaca (fletxes blanques) a la porositat deixada pels grans detrítics (fletxa negra). Mostra FMP - 2.

B. Ciment d'òpal en esferulites relacionat amb la transformació a òpal de la matriu argilosa en un gres de la Unitat del Castell. Mostra FMP - 6.

C. Detall de l'òpal en petites esferulites. Mostra FMM - 31.

D. Òpal i un cub d'alunita (fletxa blanca) amb les arestes de 1  $\mu\text{m}$ . Mostra FMP - 6.

E. Detall del cub d'alunita de la foto anterior. Mostra FMP - 6.

F. *Booklet* de caolinita autigènica. Mostra FMM - 31.

